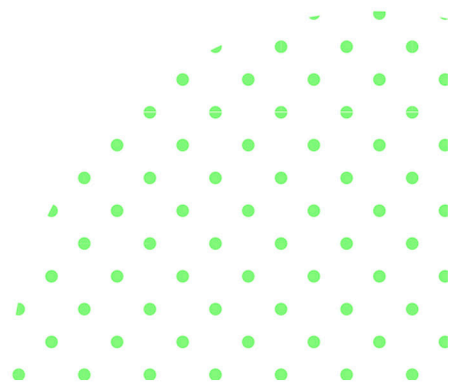


CHAMA O FÍSICO

# DINÂMICA

**PROF. THALES RODRIGUES**







# Sumário

<b>LEIS DE NEWTON</b>	<b>2</b>
<b>SISTEMA DE CORPOS</b>	<b>28</b>
<b>FORÇA DE ATRITO</b>	<b>31</b>
<b>DINÂMICA NO MCU</b>	<b>42</b>
<b>TRABALHO E ENERGIA</b>	<b>50</b>
<b>QUANTIDADE DE MOVIMENTO</b>	<b>63</b>
<b>GRAVITAÇÃO</b>	<b>70</b>
<b>GABARITO</b>	<b>79</b>

## MÓDULO 01: LEIS DE NEWTON

No estudo da cinemática analisamos os movimentos sem nos preocupar com as causas. A partir de agora, iniciaremos o estudo da dinâmica. A dinâmica é a parte da física que estuda as causas dos movimentos. O que fez o corpo acelerar? O que mantém o corpo em uma curva? Teremos como base nesse estudo as famosas "Leis de Newton".

### FORÇA

Apesar do conceito de força ser intuitivo para nós, aqui na física nós teremos uma definição mais detalhada. Podemos dizer que uma força é o resultado da interação entre dois corpos. Sempre que existir interação entre dois corpos, seja por contato ou por ação à distância, existirá uma força entre eles. Logo, um corpo não pode fazer força sobre si mesmo. É importante lembrar que força é uma grandeza física vetorial, ou seja, para ficar completamente definida precisamos conhecer o seu módulo, direção e sentido.

A existência de uma força aplicada sobre um corpo pode produzir alguns efeitos sobre o corpo.

### Deformação

Forças são capazes de deformar um corpo. Quando se chuta uma bola, por exemplo, o contato da bola com os pés produz uma deformação na bola.

### Aceleração

Forças são capazes de alterar o vetor velocidade, ou seja, produzir uma aceleração. Vale lembrar, lá do nosso estudo de *Fundamentos da Mecânica*, que a velocidade é uma grandeza vetorial. Sempre que o vetor velocidade mudar (módulo, direção ou sentido) deve existir uma força atuando sobre o corpo.

### Equilíbrio

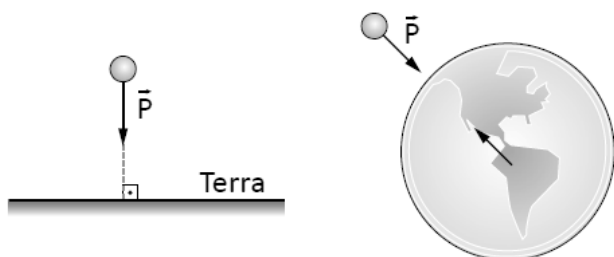
As forças também podem se equilibrar e manter os corpos em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.

### TIPOS DE FORÇAS

Podemos classificar as forças em dois grupos: contato e ação à distância. A partir de agora irei te apresentar as principais forças que aparecerão no nosso estudo da dinâmica.

### Força Peso (P)

A força peso, também chamada de força gravitacional, é uma força de ação à distância. Essa força é resultado da interação entre corpos que possuem massas. Entretanto, para que essa força seja relevante, pelo menos umas das massas devem ser astronômicas (um planeta, por exemplo). A força peso é a força com que a Terra, por exemplo, atrai os corpos para o seu centro. Observe que não é preciso ter contato com a Terra para que essa força exista e, por isso, é classificada com uma força de ação à distância.



Conhecendo a massa do corpo e a gravidade no local, podemos calcular a força peso pela seguinte expressão:

$$P = m \cdot g$$

A unidade de força no sistema internacional de unidades é o newton (N). Essa unidade é definida como:

$$N = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

### Atenção!

Sempre que você for calcular a força peso, utilize a massa em quilograma. A força peso só será dada em newton se a massa estiver no sistema internacional de unidades.

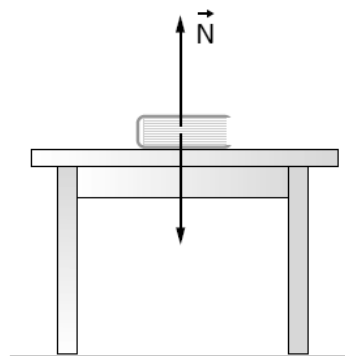
Entretanto, temos uma outra unidade. Talvez você já tenha ouvido falar no "quilograma-força" (kgf). Essa unidade não é muito comum nos vestibulares. Um quilograma-força equivale a aproximadamente 10 newtons.

$$1 \text{ kgf} \cong 10 \text{ N}$$

Quando um corpo é levado da Terra para a Lua, por exemplo, a sua massa não é alterada. Afinal de contas, a massa de um corpo representa a quantidade de matéria desse corpo sendo, portanto, uma propriedade física desse corpo. Entretanto, como na Lua a gravidade é menor, a atração (força peso) que esse corpo sofre na Lua será menor.

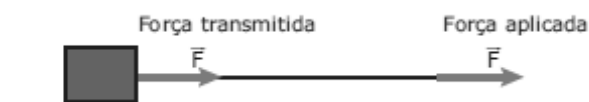
### Força Normal (N)

A força normal é uma força de contato e existirá sempre que houver compressão. Ela recebe o nome de normal por ser sempre perpendicular à superfície.



### Força de Tração ou Tensão (T)

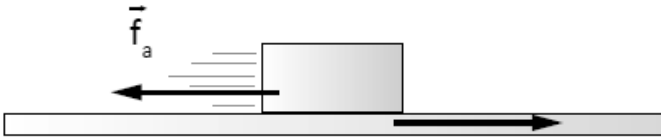
Podemos utilizar cordas para transmitir forças de um ponto a outro do espaço. Uma corda ideal é aquela que é inextensível, que possui flexibilidade e que apresenta massa desprezível em relação aos corpos aos quais está presa. Denominamos força de tensão, ou tração, a força que é transmitida de um ponto a outro de um sistema, utilizando cordas, como mostrado na figura a seguir. É uma força de contato e sempre representará um "puxão". Uma força de tensão não é capaz de empurrar algo.





### Força de Atrito (fat)

A força de atrito também é uma força de contato, mas, diferentemente da força normal, a direção dela é paralela às superfícies que se tocam. A força de atrito existe devido às irregularidades existentes nos corpos. Essas irregularidades geram uma força contrária à tendência de movimento que recebe o nome de força de atrito.



### Força Elástica (F<sub>el</sub>)

A força elástica é a força que surge quando uma mola é deformada. Essa força é proporcional à deformação da mola, ou seja, quanto mais deformada estiver a mola (esticada ou comprimida) maior será o valor da força elástica. A relação entre a força elástica e a deformação (x) é dada pela lei de Hooke:

$$F_{el} = k \cdot x$$

Na lei de Hooke a constante k é chamada de constante elástica e é característica de cada mola. Uma mola mais dura possui maior constante elástica e uma mola mais maleável possui uma constante elástica menor.

#### A dica de hoje é...

Quando for fazer o cálculo da força elástica, olhe para a unidade da constante elástica (k). No sistema internacional ela é dada em N/m. Ou seja, coloque a deformação em metros e a força elástica será calculada em newtons!

### 1ª LEI DE NEWTON

No nosso curso de fundamentos da mecânica vimos que Galileu rompe com o pensamento aristotélico que dizia que para ter movimento era preciso ter uma força. Você lembra? A partir dos experimentos com planos inclinados, Galileu havia apresentado ao mundo a lei da Inércia, que dizia que um corpo em movimento tende a continuar em movimento, da mesma forma que um corpo em repouso tende a continuar em repouso. De uma forma mais ampla, podemos dizer que inércia é uma propriedade que os corpos têm de manter a sua velocidade.

Isaac Newton deu sequência aos trabalhos de Galileu e aprimorou a lei da inércia. Segundo ele, se a força resultante sobre um corpo for nula, o corpo estará em EQUILÍBRIO. As duas condições de equilíbrio são:

- 1) se o corpo estiver em movimento ele seguirá em movimento retilíneo uniforme.
- 2) se um corpo estiver em repouso ele permanecerá em repouso permanente.

A partir da 1ª lei de Newton podemos garantir que a força resultante em um corpo que encontra-se em equilíbrio (repouso permanente ou MRU) será nula.

A inércia pode ser observada em diversos exemplos:

- Quando estamos dentro de um ônibus, temos obviamente a mesma velocidade do ônibus. Se o motorista pisar bruscamente no freio e o veículo parar subitamente, teremos a sensação de que o nosso corpo foi "lançado" para frente.

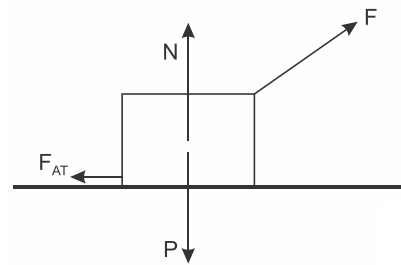
No entanto, não houve nenhuma força nos empurrando e, portanto, não podemos afirmar que o nosso corpo foi lançado. O que aconteceu foi que os freios param o ônibus, e não param os nossos corpos. Assim o meu corpo que tinha a mesma velocidade de ônibus, tende a permanecer com essa velocidade.

- Se você cair da garupa de uma moto porque o motociclista arrancou bruscamente, você foi vítima da inércia. Seu corpo que estava parado tende a permanecer parado. É preciso segurar firme para acompanhar a moto, para que exista uma força sobre você que te coloque em movimento.

- Um astronauta pode arremessar algum objeto no espaço e observá-lo em movimento retilíneo e uniforme indefinidamente. Como no espaço não existe atrito ou resistência do ar, o movimento do corpo é permanente. Esse objeto permanecerá em movimento, com velocidade constante, até que algum outro corpo exerça uma força sobre ele.

### Exercício Resolvido

(UPF) Um estudante de Física aplica uma força F sobre um livro que está em cima de uma mesa, conforme esquema apresentado na figura. Lembrando da aula de Mecânica, ele começa a fazer algumas conjecturas sobre as relações entre as forças que atuam nesse livro.

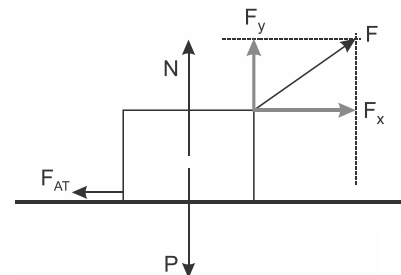


Considerando um movimento de velocidade constante, qual das alternativas a seguir expressa de forma mais adequada a relação entre essas forças?

- A)  $F < F_{AT}$  e  $P = N$
- B)  $F > F_{AT}$  e  $P > N$
- C)  $F = F_{AT}$  e  $P = N$
- D)  $F > F_{AT}$  e  $P < N$
- E)  $F < F_{AT}$  e  $P < N$

#### Resolução:

Analisando as forças nos eixos horizontal e vertical e sabendo que a velocidade é constante, isto é, a força resultante é nula, temos:



Eixo horizontal:

$$F_{AT} = F_x$$

Logo, como a força F está inclinada, ela é maior que a força de atrito, assim:  $F > F_{AT}$ .

Eixo Vertical:

O equilíbrio de forças no eixo vertical é dado pelas forças normal, a componente vertical de  $F$  e o peso.

$$P = N + F_y$$

Então, necessariamente a força peso é maior que a força normal.  $P > N$ .

Gabarito: Letra B

**2ª LEI DE NEWTON**

Enquanto a primeira lei de Newton está relacionada ao equilíbrio de um corpo (força resultante nula), a segunda lei de Newton responde a seguinte pergunta: o que ocorre quando um corpo é submetido a uma força resultante? Bem, o corpo será acelerado e, conseqüentemente, a sua velocidade irá variar. Podemos dizer que a massa de um corpo é uma medida da inércia desse corpo. Como assim? Quanto maior a massa de um corpo, mais difícil é mudar o seu estado de movimento.

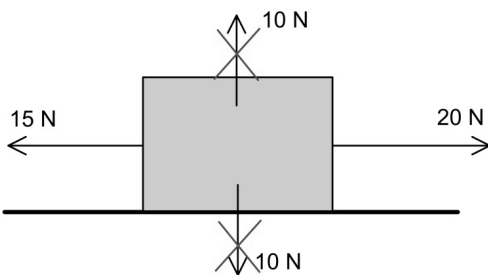
A segunda lei de Newton estabelece que a razão entre a força resultante aplicada em um corpo e a aceleração que o corpo adquire está associada à massa do corpo.

$$\frac{F_R}{a} = m \Rightarrow F_R = m \cdot a$$

Quanto maior for a massa de um corpo, menor será a aceleração provocada pela força resultante. Ou seja, será mais difícil alterar a velocidade do corpo. Por isso podemos dizer que a massa é uma medida da inércia.

E vale lembrar que a força resultante e a aceleração são "bests"! O vetor força resultante terá sempre a mesma direção e sentido do vetor aceleração. Para onde apontar o vetor força resultante, apontará também o vetor aceleração (independente da velocidade).

Imagine um corpo em que atuam sobre ele as quatro forças mostradas na figura:



Como as forças verticais são iguais em módulo e possuem sentidos opostos, dizemos que elas se anulam. Na horizontal, a maior força está para a direita, então teremos uma força resultante nesse sentido. De acordo com a 2ª lei de Newton, a aceleração do corpo será necessariamente nesse sentido.



Entretanto, não podemos afirmar nada sobre a velocidade do corpo.

**Exercício Resolvido** . . . . .

(Ufrgs) Na figura abaixo, duas forças de intensidade  $F_A = 20$  N e  $F_B = 50$  N são aplicadas, respectivamente, a dois blocos A e B, de mesma massa  $m$ , que se encontram sobre uma superfície horizontal sem atrito.

A força  $F_B$  forma um ângulo  $\theta$  com a horizontal, sendo  $\text{sen}\theta = 0,6$  e  $\text{cos}\theta = 0,8$ .



A razão  $a_B / a_A$  entre os módulos das acelerações  $a_B$  e  $a_A$ , adquiridas pelos respectivos blocos B e A, é igual a

- A) 0,25
- B) 1
- C) 2
- D) 2,5
- E) 4

**Resolução:**

As acelerações dos blocos A e B sobre o plano horizontal é determinado pela 2ª Lei de Newton.

$$F = m \cdot a \therefore a = \frac{F}{m}$$

Assim, para cada bloco, na direção horizontal, temos:

Bloco A:

$$a_A = \frac{F_A}{m} \therefore a_A = \frac{20}{m}$$

Bloco B:

$$a_B = \frac{F_B \cdot \text{cos}\theta}{m} \Rightarrow a_B = \frac{50 \cdot 0,8}{m} \therefore a_B = \frac{40}{m}$$

Logo, a razão  $\frac{a_B}{a_A}$  será:

$$\frac{a_B}{a_A} = \frac{40/m}{20/m} \therefore \frac{a_B}{a_A} = 2$$

Gabarito: Letra C

**3ª LEI DE NEWTON**

Como as forças são consequência de uma interação entre os corpos, elas sempre serão representadas em pares. Podemos dizer que ambos os corpos ficam sujeitos a uma das forças do par, denominado ação e reação.

Se um corpo A aplicar uma força sobre um corpo B, aquele receberá deste uma força de mesma intensidade, mesma direção e sentido oposto à força que aplicou em B.



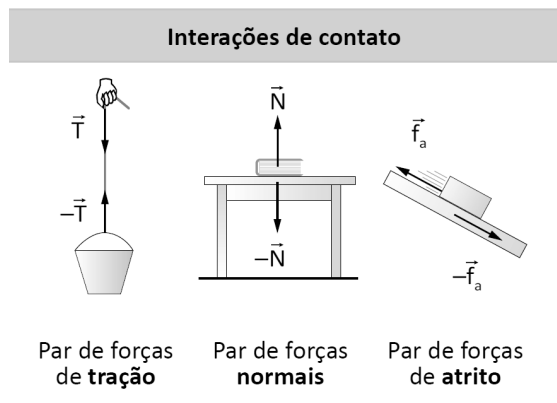
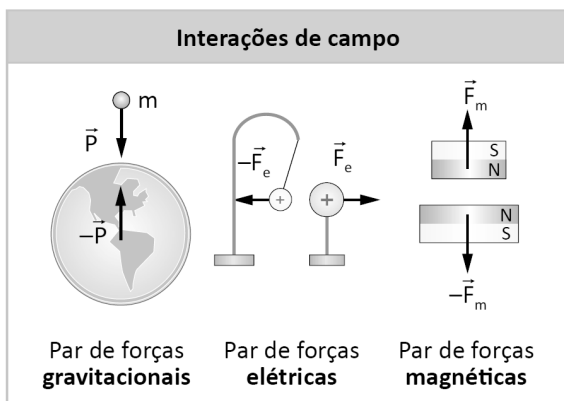
### Atenção!

As forças que constituem o par ação e reação têm sempre a mesma natureza, ou seja, se uma for uma atração gravitacional, a outra também será; se uma for uma força de contato, a outra também será. E detalhe: as forças de ação e reação sempre serão aplicadas em corpos distintos, ou seja, nunca aparecem no mesmo corpo e por isso não poderão se equilibrar.

Assim, fica bastante fácil identificar forças que constituem um par de ação e reação, veja:

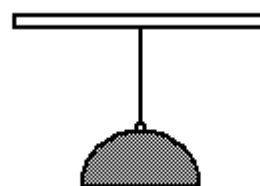
- Quando um garoto chuta uma bola, dizemos que o seu pé exerce uma força na bola e a bola exerce uma força contrária no pé do garoto.
- Ao empurrarmos uma parede, sentimos que ela nos empurra de volta. Tanto é que, dependendo da sua força inicial, ela pode te jogar no chão!
- Como a Terra me atrai com a força peso, é correto afirmar que eu também estou atraindo a Terra.

Dessa maneira nunca existirá uma força isolada no universo. A terceira lei de Newton é utilizada para explicar diversas aplicações tecnológicas, como os helicópteros e os ônibus espaciais. Os helicópteros levantam voo pois a sua hélice gira empurrando o ar para baixo em alta velocidade. Quando o ar é empurrado para baixo, ele reage e empurra o helicóptero para cima levantando-o do chão. Já os ônibus espaciais conseguem se mover no espaço, onde existe vácuo, graças a um imenso reservatório cheio de gás. Para iniciar o seu movimento o ônibus espacial expelle gás para trás em alta velocidade e o gás o empurra para frente. A grande vantagem é que uma vez em movimento a sua tendência é manter esse movimento. Então no vácuo e, portanto, na ausência de atrito o ônibus espacial não precisa ejetar gás o tempo todo. Após atingir certa velocidade, ele continua indefinidamente em MRU, sem precisar gastar gás do recipiente.



### Exercício Resolvido

(Unifesp) Na figura está representado um lustre pendurado no teto de uma sala.



Nessa situação, considere as seguintes forças:

- O peso do lustre, exercido pela Terra, aplicado no centro de gravidade do lustre.
- A tração que sustenta o lustre, aplicada no ponto em que o lustre se prende ao fio.
- A tração exercida pelo fio no teto da sala, aplicada no ponto em que o fio se prende ao teto.
- A força que o teto exerce no fio, aplicada no ponto em que o fio se prende ao teto.

Dessas forças, quais configuram um par ação-reação, de acordo com a Terceira Lei de Newton?

- I e II.
- II e III.
- III e IV.
- I e III.
- II e IV.

### Resolução:

A força peso no bloco é resultado da atração que a Terra exerce nos corpos. Consequentemente, se a Terra atrai o lustre, o lustre atrai a Terra. A reação ao peso do lustre está no centro da Terra.

O fio por sua vez sustenta o lustre com uma força de tração. Se o fio puxa o lustre, o lustre puxa o fio.

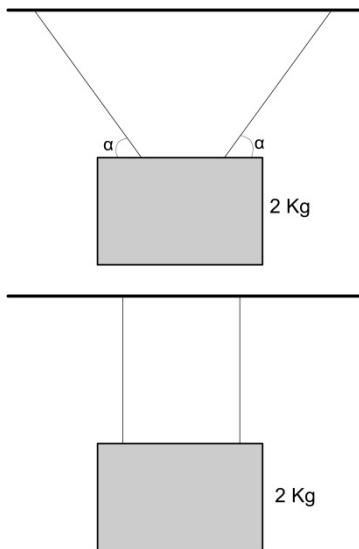
O teto sustenta o fio, puxando-o para cima. Se o teto puxa o fio, o fio puxa o teto.

Logo, apenas III e IV constituem um par de ação e reação.

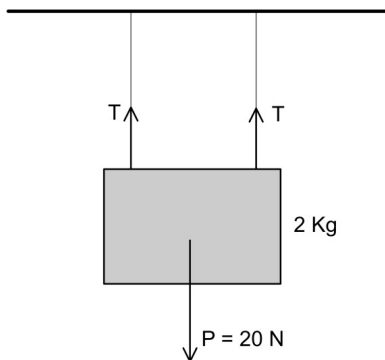
Gabarito: Letra C

**SITUAÇÕES COM CORDAS**

Para calcular a tensão que um fio exerce sobre um corpo, devemos proceder de maneira diferente se o corpo estiver ou não em equilíbrio. Observe primeiramente esses dois corpos em equilíbrio:



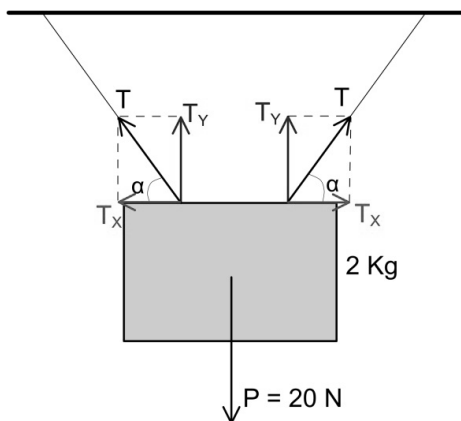
Em ambos os casos, o bloco tem massa 2 kg e, portanto pesa 20 N. Como nas duas situações ele se encontra em equilíbrio, então a força resultante sobre ele deve ser sempre nula. Veja as figuras novamente com as forças desenhadas nos blocos.



Nesse bloco, existe o peso P apontando verticalmente para baixo e duas tensões T apontando verticalmente para cima. Para que a força resultante seja nula, as tensões devem anular a força peso, então:

$$2T = P$$

$$T = 10 \text{ N}$$



Nesse bloco, para que a força resultante seja nula, as tensões horizontais  $T_x$  devem se anular, assim como as forças verticais. Então:

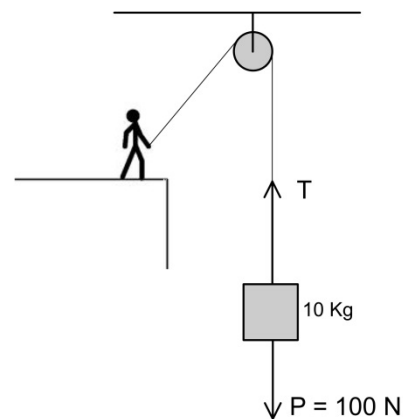
$$2T_y = P$$

$$2T \cdot \cos \alpha = P$$

$$T = \frac{P}{2 \cdot \cos \alpha}$$

Portanto, nessa situação, o valor da tensão depende do valor de  $\alpha$ , que será fornecido no problema.

Na situação da figura abaixo, vamos calcular a tensão necessária, para que o bloco de 10 kg suba com uma aceleração de 2 m/s<sup>2</sup>. Veja:



As únicas forças que atuam no bloco são a tensão e o seu próprio peso. Como o bloco está acelerado, vamos utilizar a 2ª lei de Newton:

$$F_R = ma$$

Como a aceleração está para cima, a força resultante também estará. Portanto a tensão no bloco será maior do que o seu peso. Assim:

$$T - P = ma$$

$$T - 100 = 10 \cdot 2$$

$$T = 120 \text{ N}$$

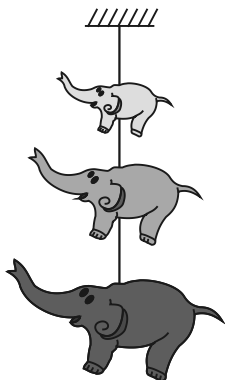
No exemplo acima, se estivéssemos interessados em calcular a força do homem, a resposta seria a mesma, ou seja, 120N. Isso porque a corda apenas transmite a força que lhe é aplicada e a roldana apenas dobra a corda, redirecionando a força.





### Exercício Resolvido .....

(Fuvest) Um móbil pendurado no teto tem três elefantezinhos presos um ao outro por fios, como mostra a figura. As massas dos elefantes de cima, do meio e de baixo são, respectivamente, 20 g, 30 g e 70 g.



Os valores de tensão, em newtons, nos fios superior, médio e inferior são, respectivamente, iguais a

Note e adote: Desconsidere as massas dos fios.

Aceleração da gravidade  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

- A) 1,2; 1,0; 0,7.
- B) 1,2; 0,5; 0,2.
- C) 0,7; 0,3; 0,2.
- D) 0,2; 0,5; 1,2.
- E) 0,2; 0,3; 0,7.

#### Resposta:

1ª Solução:

Podemos pensar de uma maneira simples:

Se cortarmos o fio superior, os três elefantes cairão. Logo, a tração nesse fio superior equilibra os pesos dos três elefantes. Sendo  $T_s$  a tensão nesse fio, temos:

$$T_s = P_c + P_m + P_b = (m_c + m_m + m_b)g = [(20 + 30 + 70) \times 10^{-3}]10 \Rightarrow T_s = 1,2 \text{ N.}$$

Se cortarmos o fio médio, cairão os elefantes do meio e de baixo. Logo, a tração nesse fio do meio equilibra os pesos desses dois elefantes. Sendo  $T_m$  a tensão nesse fio, temos:

$$T_m = P_m + P_b = (m_m + m_b)g = [(30 + 70) \times 10^{-3}]10 \Rightarrow T_m = 1,0 \text{ N.}$$

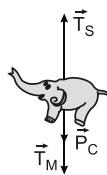
Analogamente, se cortarmos o fio inferior, cairá apenas o elefante de baixo. Logo, a tração nesse fio equilibra o peso desse elefante. Sendo  $T_b$  a tensão nesse fio, temos:

$$T_b = P_b = m_b g = 70 \times 10^{-3} \times 10 \Rightarrow T_b = 0,7 \text{ N.}$$

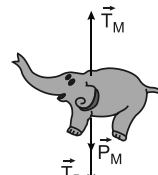
### 2ª Solução:

Racionando de uma maneira mais técnica, analisemos o diagrama de forças sobre cada móbil.

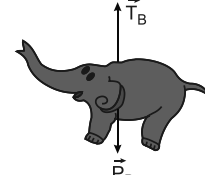
De Cima (C)



Do Meio (M)



De Baixo (B)



Como se trata de um sistema em equilíbrio, a resultante das forças em cada elefante é nula. Assim:

$$\begin{cases} (C) \Rightarrow T_s - P_c - T_m = 0 \\ (M) \Rightarrow T_m - P_m - T_b = 0 \\ (B) \Rightarrow T_b - P_b = 0 \end{cases} \quad (+) \Rightarrow T_s - P_c - P_m - P_b = 0 \Rightarrow T_s = P_c + P_m + P_b \Rightarrow T_s = [(20 + 30 + 70) \times 10^{-3}] \times 10 \Rightarrow T_s = 1,2 \text{ N.}$$

Em (B):

$$T_b - P_b = 0 \Rightarrow T_b = P_b = 70 \times 10^{-3} \times 10 \Rightarrow T_b = 0,7 \text{ N.}$$

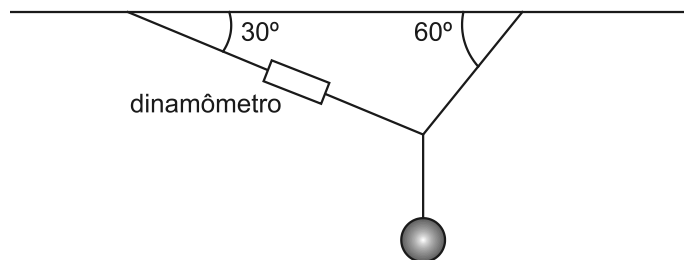
Em (M):

$$T_m - P_m - T_b = 0 \Rightarrow T_m = P_m + T_b = [(30 + 70) \times 10^{-3}] \times 10 \Rightarrow T_m = 1,0 \text{ N.}$$

Gabarito: Letra A

### Exercício Resolvido .....

(Unesp) Um professor de física pendurou uma pequena esfera, pelo seu centro de gravidade, ao teto da sala de aula, conforme a figura:

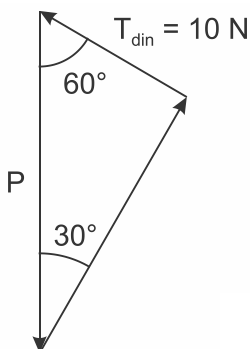


Em um dos fios que sustentava a esfera ele acoplou um dinamômetro e verificou que, com o sistema em equilíbrio, ele marcava 10 N. O peso, em newtons, da esfera pendurada é de

- A)  $5\sqrt{3}$
- B) 10
- C)  $10\sqrt{3}$
- D) 20
- E)  $20\sqrt{3}$

**Resolução:**

Como a esfera está em equilíbrio, a resultante das forças é nula.

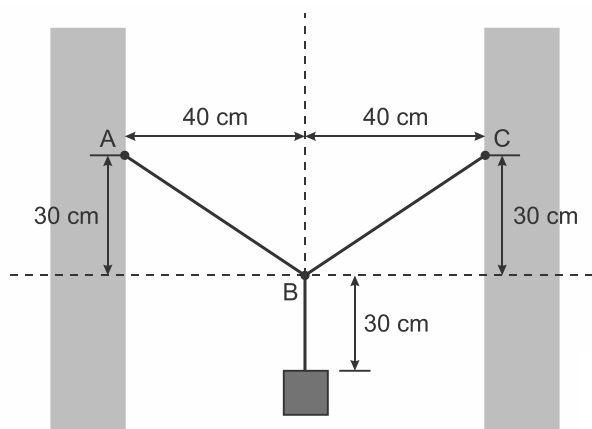


$$\text{sen } 30^\circ = \frac{T_{\text{din}}}{P} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{10}{P} \Rightarrow P = 20 \text{ N.}$$

Gabarito: Letra D

**Exercício Resolvido** .....

(Eear) Um pedreiro decidiu prender uma luminária de 6 kg entre duas paredes. Para isso dispunha de um fio ideal de 1,3 m que foi utilizado totalmente e sem nenhuma perda, conforme pode ser observado na figura.

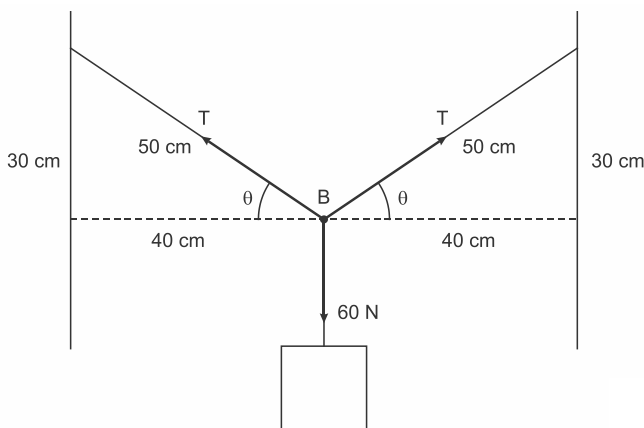


Sabendo que o sistema está em equilíbrio estático, determine o valor, em N, da tração que existe no pedaço AB do fio ideal preso à parede. Adote o módulo da aceleração da gravidade no local igual a 10 m/s<sup>2</sup>.

- A) 30
- B) 40
- C) 50
- D) 60

**Resolução:**

Isolando o ponto B, temos:



$$2T \text{sen } \theta = mg$$

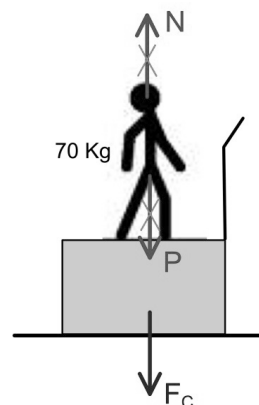
$$2T \cdot \frac{3}{5} = 6 \cdot 10$$

$$\therefore T = 50 \text{ N}$$

Gabarito: Letra C

**BALANÇA E ELEVADOR**

Você já se perguntou sobre como é o funcionamento de uma simples balança? Como ela sabe a sua massa? O que acontece é que, quando um corpo fica em repouso sobre uma balança, ela mede a força com que esse corpo a comprime, ou seja, a força de compressão. Veja uma pessoa parada sobre uma balança e as forças que atuam nela, ou seja, o peso e a normal:



Como a pessoa está parada, a força resultante sobre ela deve ser nula, de acordo com a 1ª lei de Newton. Assim, as forças peso (P) e normal (N) se anulam, ou seja, elas são opostas e possuem o mesmo módulo que é de 700 N.

$$P = N = 700 \text{ N}$$

No entanto, a normal e a força de compressão (F<sub>c</sub>) constituem um par de ação e reação, o que nos permite concluir que elas possuem sempre o mesmo módulo.

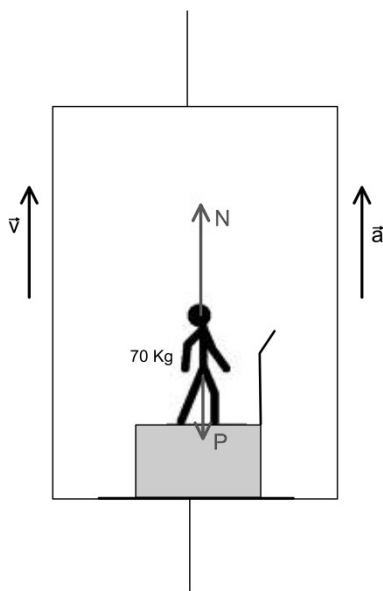
$$N = F_c = 700 \text{ N}$$

A nossa conclusão é a seguinte: a balança sabe a sua massa, através da força de compressão, mas essa força terá sempre o mesmo valor da normal. O que a balança faz é inferir um valor para a massa do corpo, baseado no valor da força de compressão que o corpo exerce sobre ela.



Assim, em várias situações a balança não indicará a massa correta da pessoa. Um exemplo simples acontece quando você salta sobre a balança. Ao cair na balança, a força de compressão aumenta, indicando um valor maior do que o real para a sua massa.

Imagine agora, uma pessoa de 70 Kg em repouso sobre uma balança dentro de um elevador. Vamos imaginar também que esse elevador esteja subindo com uma aceleração de  $2 \text{ m/s}^2$ . A figura abaixo ilustra essa situação:



Como o elevador possui uma aceleração, a balança não indicará 70 kg. A sua leitura depende da força de compressão que possui o mesmo valor da normal  $N$  (pois formam par de ação e reação). Estando a aceleração para cima, a força resultante também estará. Então:

$$\begin{aligned} F_R &= ma \\ N - P &= ma \\ N - 700 &= 70 \cdot 2 \\ N &= 840 \text{ N} \end{aligned}$$

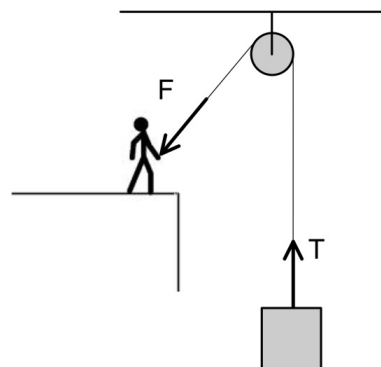
Como a força de compressão vale 840 N, a balança indicará 84 kg, pois essa é a massa que geralmente faria uma compressão de 840 N. Analogamente, se a aceleração de  $2 \text{ m/s}^2$  do elevador estivesse para baixo, a balança marcaria um valor menor do que 70 kg. Tente calcular qual seria esse valor (resposta: 56 kg)

No entanto, se o elevador estivesse em MRU a balança marcaria 70 kg para qualquer valor de velocidade do elevador. Isso porque, em todos os corpos em MRU a força resultante é nula, de acordo com a 1ª lei de Newton. Assim, a normal teria o mesmo valor da força peso.

### Roldanas ou Polias

As roldanas podem facilitar bastante as nossas vidas, tornando uma tarefa extremamente mais simples. Isso porque, dependendo de como a roldana participa do sistema, ela pode nos ajudar trazendo mais conforto para realizar a tarefa ou até tornando a força necessária para a tarefa menor do que deveria ser.

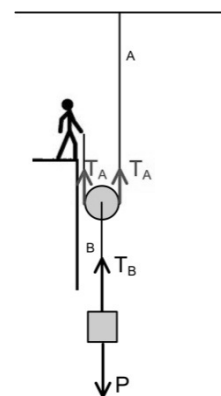
No exemplo o homem puxa um bloco utilizando uma roldana. Esse sistema é muito utilizado para levantar tijolos em construções. Veja:



Nesse caso, a roldana apenas dobra a corda transmitindo a força do homem em uma direção diferente. Assim, a tensão  $T$  que aparece no bloco possui o mesmo módulo da força  $F$  do homem, mas torna a tarefa mais confortável para o homem. Repare que ele está erguendo um corpo exercendo uma força para baixo. Ele pode, inclusive, utilizar o seu próprio peso para ajudá-lo na tarefa. Por isso a roldana está facilitando a realização da tarefa.

Concluindo, o homem precisa fazer uma força igual ao peso do bloco para mantê-lo parado ou para puxá-lo com velocidade constante. Ou então, uma força maior do que o peso do bloco para erguê-lo de maneira acelerada.

No entanto, uma montagem bem diferente utilizando apenas uma roldana está representada na figura abaixo:



Na figura acima, a corda  $A$  que o homem puxa é diferente daquela que segura o bloco, a corda  $B$ . Por serem cordas diferentes, elas muito provavelmente estarão submetidas a tensões diferentes e isso realmente acontece. Perceba que a corda  $B$  é aquela que sustenta o bloco e, portanto, a sua tensão deve ser igual ao peso do bloco:

$$T_B = P$$

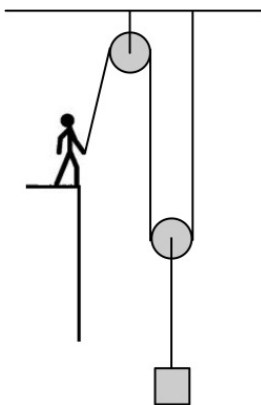
No entanto, a corda  $B$  está presa na roldana e esta por sua vez está apoiada em "duas cordas", tendo assim dois apoios. Assim, a tensão da corda  $B$  será dividida nos dois apoios da roldana e podemos concluir:

$$F = T_A = \frac{T_B}{2} = \frac{P}{2}$$

Como a força do homem ( $F$ ) é transmitida na corda A, ela será igual à tensão nessa corda, assim o homem consegue segurar o bloco exercendo uma força de módulo igual à metade do peso do bloco. Essa é uma aplicação incrível para as roldanas. Com o auxílio desses dispositivos, podemos sustentar e erguer pesos que não conseguiríamos normalmente!

No entanto, é possível perceber pela figura que, se o homem quiser erguer o bloco por 1 m, ele terá que puxar 2 m de corda! Repare que para levantar o bloco 1 m, a corda B deve subir a mesma quantidade. No entanto, o homem puxa a corda A. Essa corda dá a volta por baixo da roldana e, portanto, as duas partes dela deverão ser recolhidas, ou seja, a parte que está à esquerda e a parte que está à direita da roldana. Ele faz a metade da força que faria se não estivesse utilizando essa roldana, mas em compensação ele puxa o dobro de corda. É como dizem: tudo na vida tem um preço!

Pode-se também unir as duas situações mencionadas acima em apenas uma. Veja a figura:

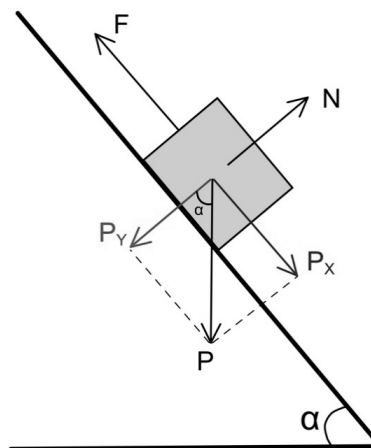


Dessa maneira, o homem pode puxar com uma força de módulo igual à metade do peso do bloco, além de ter o conforto de poder exercer essa força para baixo.

## Plano Inclinado

Se quisermos levantar um bloco até certa altura, utilizar um plano inclinado pode ser uma boa ideia, ou pelo menos, foi no passado. Alguns historiadores acreditam que os escravos teriam puxados os enormes blocos de pedra que constituem as pirâmides do Egito, ao longo de compridas rampas inclinadas. Para isso, os blocos teriam sido colocados sobre troncos que rolava para diminuir o atrito.

Para entendermos melhor porque um plano inclinado pode nos ajudar a erguer os corpos, preste atenção na figura, que mostra um bloco sendo puxado em uma rampa (plano inclinado) e também as forças que atuam sobre ele.

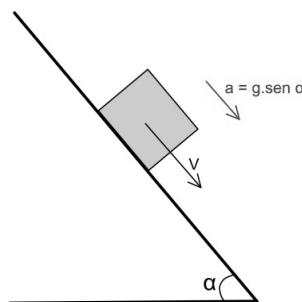


A força  $F$  representa a força do homem que puxa o bloco para cima da rampa. Para o homem puxar o bloco lentamente para cima com velocidade constante, colocando-o em MRU, a força resultante sobre ele será nula. Então, ao decompor a força peso do bloco em duas forças:  $P_x$  e  $P_y$ , percebemos que a força do homem  $F$  deve ser igual em módulo à componente  $P_x$  do peso:

$$F = P_x = P \cdot \text{sen} \alpha$$

Isso, é claro, estamos desprezando o atrito do bloco com a rampa.

No entanto, se o homem que exerce a força  $F$  soltar o bloco, teremos uma situação bem diferente. Uma corda frouxa não pode exercer tensão e como o atrito com o plano é desprezível, o bloco imediatamente começará a descer. A componente do peso  $P_x$  será a força resultante no bloco. Se existe força resultante, existe aceleração. Vamos calculá-la utilizando a 2ª lei de Newton:



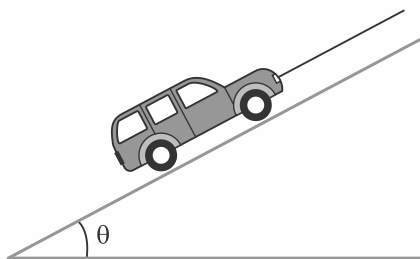
$$\begin{aligned} P_x &= P \cdot \text{sen} \alpha = ma \\ mg \cdot \text{sen} \alpha &= ma \\ a &= g \cdot \text{sen} \alpha \end{aligned}$$

Portanto, um corpo abandonado em plano inclinado sem atrito, estará sempre acelerado. O valor da aceleração será sempre menor do que a aceleração da gravidade ( $g$ ) e o valor dessa aceleração dependerá, exclusivamente do ângulo de inclinação da rampa.



### Exercício Resolvido .....

(Unigranrio) Para manter um carro de massa 1000 kg sobre uma rampa lisa inclinada que forma um ângulo  $\theta$  com a horizontal, é preso a ele um cabo.

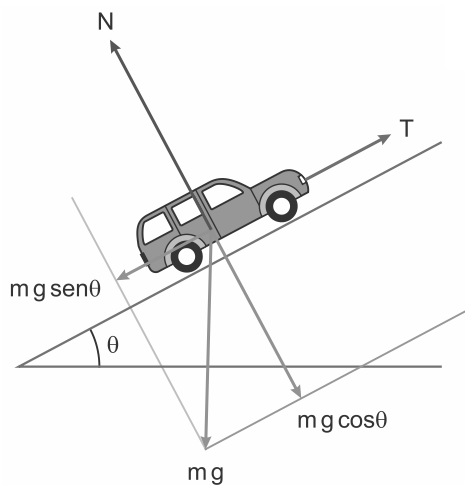


Sabendo que o carro, nessas condições, está em repouso sobre a rampa inclinada, marque a opção que indica a intensidade da força de reação normal da rampa sobre o carro e a tração no cabo que sustenta o carro, respectivamente. Despreze o atrito. Dados:  $\text{sen}\theta = 0,6$  ;  $\text{cos}\theta = 0,8$ . ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$

- A) 8000 N e 6000 N
- B) 6000 N e 8000 N
- C) 800 N e 600 N
- D) 600 N e 800 N
- E) 480 N e 200 N

#### Resposta:

De acordo com o diagrama de forças, temos:



A reação normal é igual em módulo à componente normal do peso em relação ao plano inclinado:

$$N = P_y \Rightarrow N = m g \cos \theta \Rightarrow N = 1000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 0,8 \therefore N = 8000 \text{ N}$$

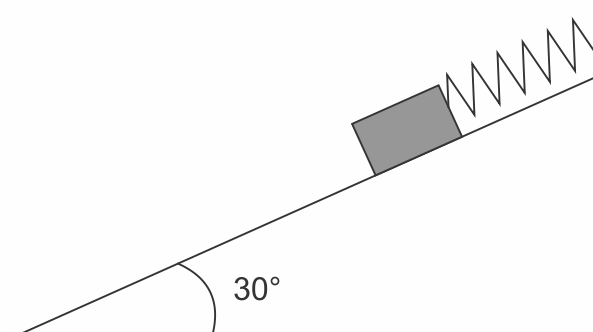
A tração na corda corresponde à componente do peso paralela ao plano inclinado:

$$T = P_x \Rightarrow T = m g \text{ sen}\theta \Rightarrow T = 1000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 0,6 \therefore T = 6000 \text{ N}$$

Gabarito: Letra A

### Exercício Resolvido .....

(PUC-RJ) Uma mola, de constante elástica 50 N/m tem um comprimento relaxado igual a 10 cm. Ela é, então, presa a um bloco de massa 0,20 kg e sustentada no alto de uma rampa com uma inclinação de  $30^\circ$  com a horizontal, como mostrado na figura. Não há atrito entre a rampa e o bloco.



Nessa situação, qual é o comprimento da mola, em cm?

Considere:  $\text{sen } 30^\circ = 0,50$   
 $\text{cos } 30^\circ = 0,87$

- A) 2,0
- B) 3,5
- C) 10
- D) 12
- E) 13,5

#### Resposta:

$$F_{\text{mola}} = m \cdot g \cdot \text{sen}30$$

$$F_{\text{mola}} = k \cdot \Delta x$$

$$m \cdot g \cdot \text{sen}30 = k \cdot \Delta x$$

$$\Delta x = \frac{m \cdot g \cdot \text{sen}30}{k} \Rightarrow \Delta x = \frac{0,2 \cdot 10 \cdot 0,5}{50} \Rightarrow \Delta x = 2,0 \text{ cm}$$

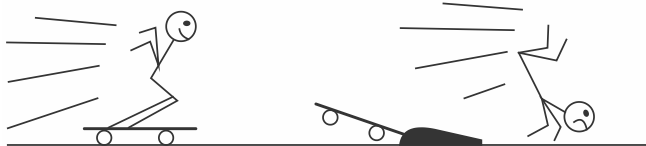
Logo, o comprimento da mola será:  $10 + 2 = 12 \text{ cm}$

Gabarito: Letra D

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

**01**

(CEFET-MG) A imagem mostra um garoto sobre um *skate* em movimento com velocidade constante que, em seguida, choca-se com um obstáculo e cai.



A queda do garoto justifica-se devido à(ao)

- A) princípio da inércia.
- B) ação de uma força externa.
- C) princípio da ação e reação.
- D) força de atrito exercida pelo obstáculo.

**02**

(Udesc) Com relação às Leis de Newton, analise as proposições.

- I. Quando um corpo exerce força sobre o outro, este reage sobre o primeiro com uma força de mesma intensidade, mesma direção e mesmo sentido.
- II. A resultante das forças que atuam em um corpo de massa  $m$  é proporcional à aceleração que este corpo adquire.
- III. Todo corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que uma força resultante, agindo sobre ele, altere a sua velocidade.
- IV. A intensidade, a direção e o sentido da força resultante agindo em um corpo são iguais à intensidade, à direção e ao sentido da aceleração que este corpo adquire.

Assinale a alternativa correta.

- A) Somente as afirmativas III e IV são verdadeiras.
- B) Somente as afirmativas I e IV são verdadeiras.
- C) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- D) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
- E) Todas afirmativas são verdadeiras.

**03**

(PUC-MG) A respeito do conceito de inércia, pode-se dizer que:

- A) inércia é uma força que mantém os objetos em repouso ou em movimento com velocidade constante.
- B) inércia é uma força que leva todos os objetos ao repouso.
- C) um objeto de grande massa tem mais inércia que um de pequena massa.
- D) objetos que se movem rapidamente têm mais inércia que os que se movem lentamente.

**04**

(Unesp) Um observador, num referencial inercial, observa o corpo I descrevendo uma trajetória circular com velocidade de módulo  $v$  constante, o corpo II descrevendo uma trajetória retilínea sobre um plano horizontal com aceleração  $a$  constante e o corpo III descrevendo uma trajetória retilínea com velocidade  $v$  constante, descendo um plano inclinado.

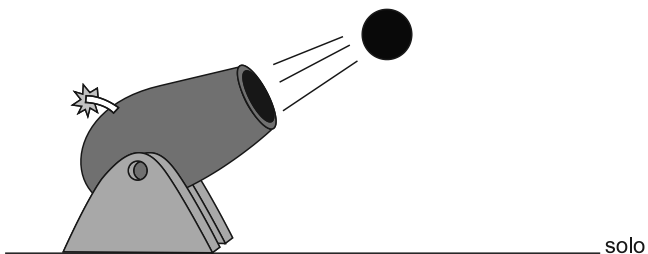


Nestas condições, podemos afirmar que o módulo da resultante das forças atuando em cada corpo é diferente de zero

- A) no corpo I, somente.
- B) no corpo II, somente.
- C) no corpo III, somente.
- D) nos corpos I e II, somente.
- E) nos corpos I e III, somente.

**05**

(UERJ) A imagem abaixo ilustra uma bola de ferro após ser disparada por um canhão antigo.



Desprezando-se a resistência do ar, o esquema que melhor representa as forças que atuam sobre a bola de ferro é:

- A)
- B)
- C)
- D)



06

(Mackenzie) Quando o astronauta Neil Armstrong desceu do módulo lunar e pisou na Lua, em 20 de julho de 1969, a sua massa total, incluindo seu corpo, trajes especiais e equipamento de sobrevivência era de aproximadamente 300 kg. O campo gravitacional lunar é, aproximadamente,  $1/6$  do campo gravitacional terrestre. Se a aceleração da gravidade na Terra é aproximadamente  $10 \text{ m/s}^2$ , podemos afirmar que

- A) a massa total de Armstrong na Lua é de 300 kg e seu peso é 500 N.
- B) a massa total de Armstrong na Terra é de 50 kg e seu peso é 3000 N.
- C) a massa total de Armstrong na Terra é de 300 kg e seu peso é 500 N.
- D) a massa total de Armstrong na Lua é de 50 kg e seu peso é 3000 N.
- E) o peso de Armstrong na Lua e na Terra são iguais.

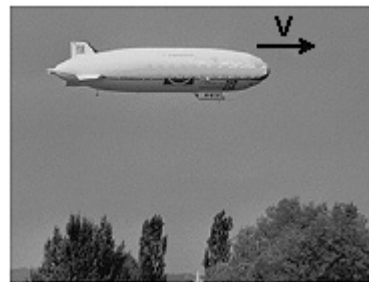
07

(PUC-MG) Leia atentamente as afirmativas a seguir e marque a opção correta.

- I. Se a aceleração de uma partícula for nula, a partícula não pode estar em movimento.
  - II. Se a aceleração de uma partícula tiver módulo constante, a direção de seu movimento pode variar.
  - III. Se a aceleração de uma partícula for diferente de zero, a partícula pode ter velocidade nula.
- A) Todas as afirmativas são corretas.
  - B) Apenas as afirmativas I e II são corretas.
  - C) Apenas as afirmativas I e III são corretas.
  - D) Apenas as afirmativas II e III são corretas.

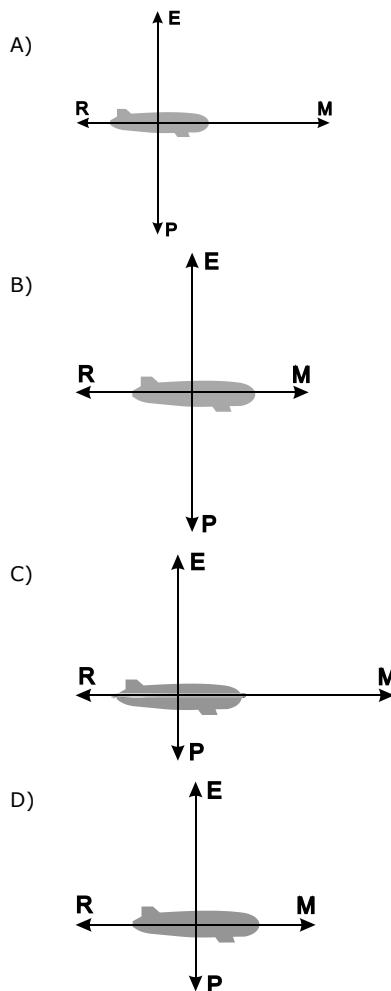
08

► (UFMG) Nesta figura, está representado um balão dirigível, que voa para a direita, em altitude constante e com velocidade  $v$ , também constante:



Sobre o balão, atuam as seguintes forças: o peso  $P$ , o empuxo  $E$ , a resistência do ar  $R$  e a força  $M$ , que é devida à propulsão dos motores.

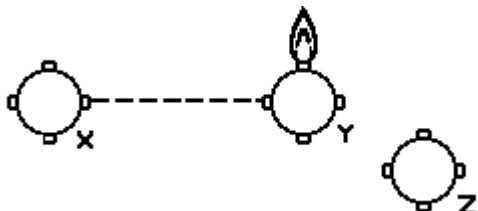
Assinale a alternativa que apresenta o diagrama de forças em que estão mais bem representadas as forças que atuam sobre esse balão.



09

► (UFMG) Uma nave espacial se movimenta numa região do espaço onde as forças gravitacionais são desprezíveis. A nave desloca-se de X para Y com velocidade constante e em linha reta. No ponto Y, um motor lateral da nave é acionado e exerce sobre ela uma força constante, perpendicular à sua trajetória inicial. Depois de um certo intervalo de tempo, ao ser atingida a posição Z, o motor é desligado.

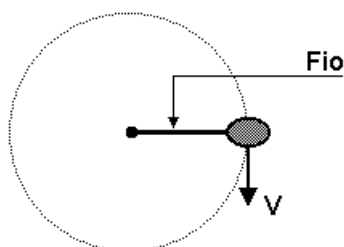
O diagrama que melhor representa a trajetória da nave, APÓS o motor ser desligado em Z, é



- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

10

(PUC-PR) Um corpo gira em torno de um ponto fixo preso por um fio inextensível e apoiado em um plano horizontal sem atrito. Em um determinado momento, o fio se rompe.

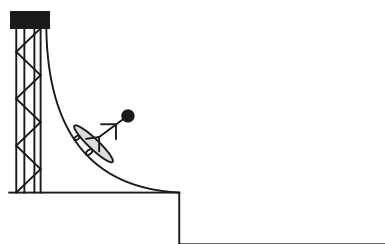


É correto afirmar:

- A) O corpo passa a descrever uma trajetória retilínea na direção do fio e sentido contrário ao centro da circunferência.
- B) O corpo passa a descrever uma trajetória retilínea com direção perpendicular ao fio.
- C) O corpo continua em movimento circular.
- D) O corpo para.
- E) O corpo passa a descrever uma trajetória retilínea na direção do fio e sentido do centro da circunferência.

11

► (CEFET-MG) Um esquetista desce uma rampa curva, conforme mostra a ilustração abaixo.



Após esse garoto lançar-se horizontalmente, em movimento de queda livre, a força peso, em determinado instante, é representada por

- A)
- B)
- C)
- D)

12

► (FMP) Um helicóptero transporta, preso por uma corda, um pacote de massa 100 kg. O helicóptero está subindo com aceleração constante vertical e para cima de  $0,5 \text{ m/s}^2$ . Se a aceleração da gravidade no local vale  $10 \text{ m/s}^2$ , a tração na corda, em newtons, que sustenta o peso vale

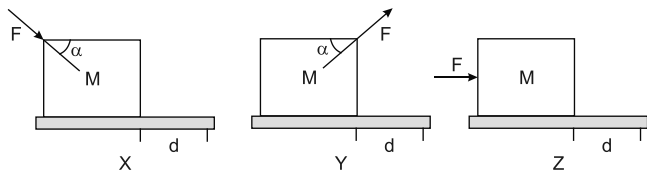
- A) 1500
- B) 1050
- C) 500
- D) 1000
- E) 950





13

► (Ufrgs) Um estudante movimentava um bloco homogêneo de massa  $M$ , sobre uma superfície horizontal, com forças de mesmo módulo  $F$ , conforme representa a figura abaixo.



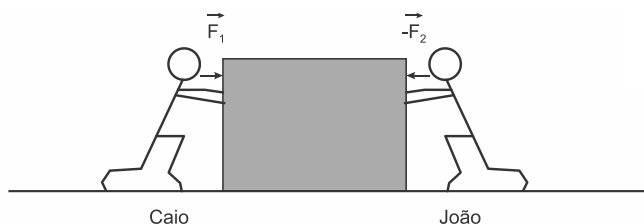
Em X, o estudante empurra o bloco; em Y, o estudante puxa o bloco; em Z, o estudante empurra o bloco com força paralela ao solo.

A força normal exercida pela superfície é, em módulo, igual ao peso do bloco

- A) apenas na situação X.
- B) apenas na situação Y.
- C) apenas na situação Z.
- D) apenas nas situações X e Y.
- E) em X, Y e Z.

14

Vinicius observa duas crianças, Caio e João, empurrando uma caixa de brinquedos. Relembrando a aula de Ciências que teve pela manhã, ele observa o deslocamento da caixa e faz um desenho representando as forças envolvidas nesse processo, conforme a figura.



Considerando que a caixa esteja submetida a duas forças horizontais, nos sentidos representados na figura, de intensidades  $F_1 = 100 \text{ N}$  e  $F_2 = 75 \text{ N}$  ficou pensando em como poderia evitar o deslocamento da caixa, fazendo com que ela ficasse em equilíbrio (parada).

Concluiu, então, que para isso ocorrer, uma outra criança deveria exercer uma força de intensidade igual a

- A) 100 N, junto com João.
- B) 100 N, junto com Caio.
- C) 75 N, junto com João.
- D) 25 N, junto com Caio.
- E) 25 N, junto com João.

15

► (Unesp) Observando-se o movimento de um carrinho de 0,4 kg ao longo de uma trajetória retilínea, verificou-se que sua velocidade variou linearmente com o tempo de acordo com os dados da tabela a seguir.

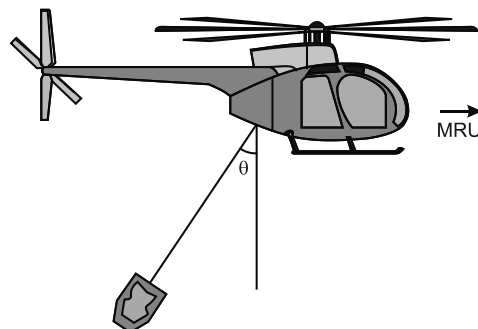
t(s)	0	1	2	3	4
v (m/s)	10	12	14	16	18

No intervalo de tempo considerado, a intensidade da força resultante que atuou no carrinho foi, em newtons, igual a

- A) 0,4.
- B) 0,8.
- C) 1,0.
- D) 2,0.
- E) 5,0.

16

► (Unesp) Em uma operação de resgate, um helicóptero sobrevoa horizontalmente uma região levando pendurado um recipiente de 200 kg com mantimentos e materiais de primeiros socorros. O recipiente é transportado em movimento retilíneo e uniforme, sujeito às forças peso ( $P$ ), de resistência do ar horizontal ( $F$ ) e tração ( $T$ ), exercida pelo cabo inextensível que o prende ao helicóptero.



Sabendo que o ângulo entre o cabo e a vertical vale  $\theta$ , que  $\text{sen}\theta = 0,6$ ,  $\text{cos}\theta = 0,8$  e  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , a intensidade da força de resistência do ar que atua sobre o recipiente vale, em N,

- A) 500.
- B) 1250.
- C) 1500.
- D) 1750.
- E) 2000.

17 (IFCE) Em um dos filmes do Homem Aranha ele consegue parar uma composição de metrô em aproximadamente 60 s. Considerando que a massa total dos vagões seja de 30.000 kg e que sua velocidade inicial fosse de 72 km/h, o módulo da força resultante que o herói em questão deveria exercer em seus braços seria de

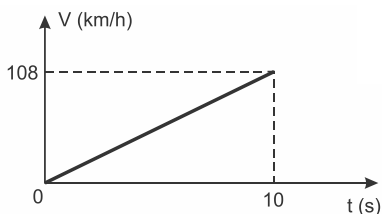
- A) 10.000 N
- B) 15.000 N
- C) 20.000 N
- D) 25.000 N
- E) 30.000 N

18 (UECE) Dois carros que transportam areia se deslocam sem atrito na horizontal e sob a ação de duas forças constantes e iguais. Ao longo do deslocamento, há vazamento do material transportado por um furo em um dos carros, reduzindo sua massa total.

Considerando que ambos partiram do repouso e percorrem trajetórias paralelas e retas, é correto afirmar que após um intervalo de tempo igual para os dois, a velocidade do carro furado, se comparada à do outro carro,

- A) é menor e o carro furado tem maior aceleração.
- B) é maior e o carro furado tem menor aceleração.
- C) é menor e o carro furado tem menor aceleração.
- D) é maior e o carro furado tem maior aceleração.

19 Durante um teste de desempenho, um carro de massa 1200 kg alterou sua velocidade, conforme mostra o gráfico abaixo.



Considerando que o teste foi executado em uma pista retilínea, pode-se afirmar que força resultante que atuou sobre o carro foi de

- A) 1200 N
- B) 2400 N
- C) 3600 N
- D) 4800 N
- E) 6000 N

20 (PUC-RJ) Duas forças perpendiculares entre si e de módulo 3,0 N e 4,0 N atuam sobre um objeto de massa 10 kg. Qual é o módulo da aceleração resultante no objeto, em  $m/s^2$ ?

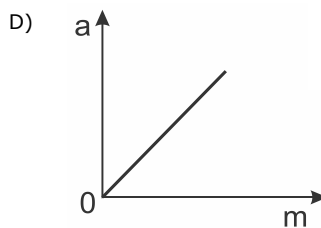
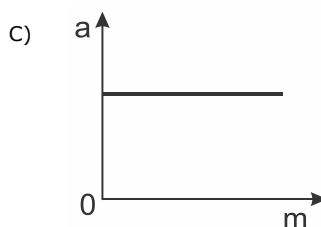
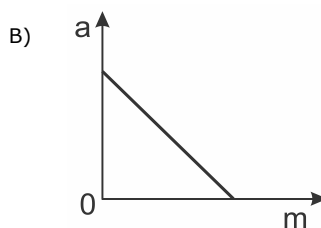
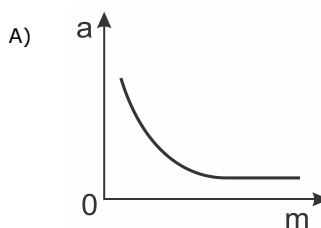
- A) 0,13
- B) 0,36
- C) 0,50
- D) 2,0
- E) 5,6

21 (CEFET-MG) É freqüente observarmos, em espetáculos ao ar livre, pessoas sentarem nos ombros de outras para tentar ver melhor o palco. Suponha que Maria esteja sentada nos ombros de João que, por sua vez, está em pé sobre um banquinho colocado no chão.

Com relação à terceira lei de Newton, a reação ao peso de Maria está localizada no:

- A) chão
- B) banquinho
- C) centro da Terra
- D) ombro de João

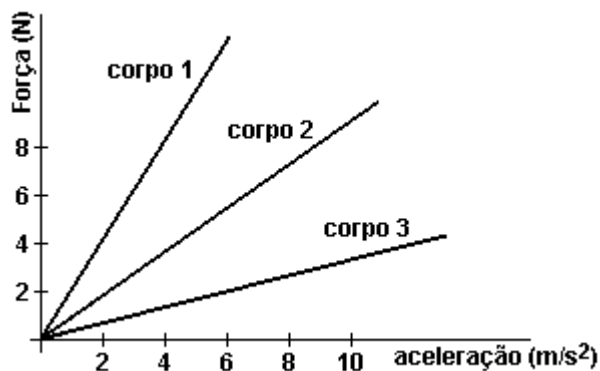
22 (PUC-MG) A mesma força horizontal é aplicada a objetos de diferentes massas. Assinale o gráfico que melhor representa a aceleração em função da massa.





23

(UFPI) A figura a seguir mostra a força em função da aceleração para três diferentes corpos, 1, 2 e 3.

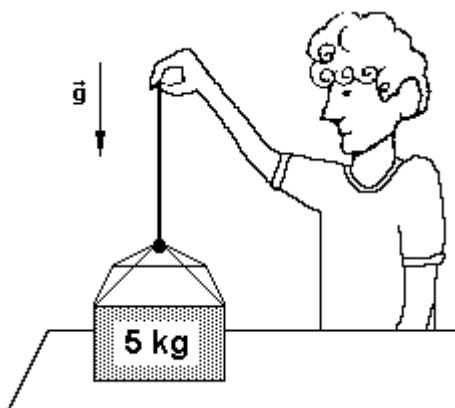


Sobre esses corpos é correto afirmar:

- A) o corpo 1 tem a menor inércia
- B) o corpo 3 tem a maior inércia
- C) o corpo 2 tem a menor inércia
- D) o corpo 1 tem a maior inércia
- E) o corpo 2 tem a maior inércia

24

► (Fuvest) Um homem tenta levantar uma caixa de 5 kg, que está sobre uma mesa, aplicando uma força vertical de 10 N.

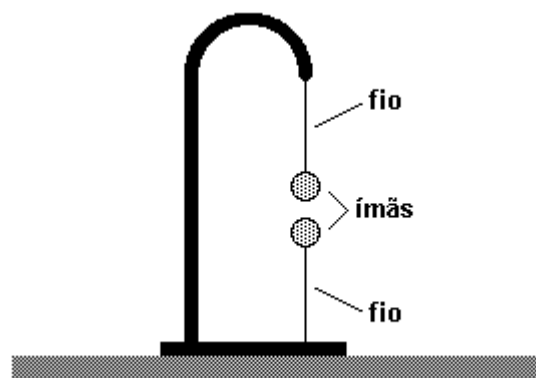


Nesta situação, o valor da força que a mesa aplica na caixa é:

- A) 0 N
- B) 5 N
- C) 10 N
- D) 40 N
- E) 50 N

25

► (UFMG) Dois ímãs, presos nas extremidades de dois fios finos, estão em equilíbrio, alinhados verticalmente, como mostrado nesta figura:

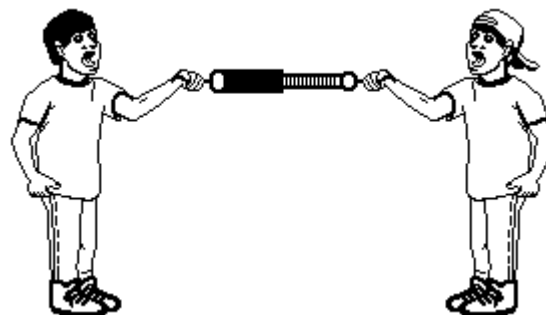


Nessas condições, o módulo da tensão no fio que está preso no ímã de cima é

- A) igual ao módulo da tensão no fio de baixo.
- B) igual ao módulo do peso desse ímã.
- C) maior que o módulo do peso desse ímã.
- D) menor que o módulo da tensão no fio de baixo.

26

► (CEFET-MG) Duas pessoas puxam as cordas de um dinamômetro na mesma direção e sentidos opostos, com forças de mesma intensidade  $F = 100$  N.



Nessas condições, a leitura do dinamômetro, em newtons, é

- A) 0.
- B) 100.
- C) 200.
- D) 400.

27

(IFSC) Um bloco, apoiado sobre uma superfície horizontal, está submetido a duas forças,  $F_1 = 4 \text{ N}$  e  $F_2 = 2 \text{ N}$ , como mostra a figura.

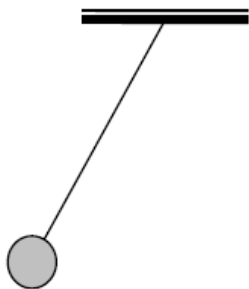


É correto afirmar que:

- A) a resultante das forças é igual a 6 N.
- B) o bloco não está em equilíbrio.
- C) a resultante das forças que atuam sobre o bloco é nula.
- D) a resultante das forças é diferente de zero e perpendicular à superfície.
- E) se o bloco estiver em repouso continuará em repouso.

28

(FCMMG) Um estudante fixou um pêndulo na parte superior de um ônibus. Quando o ônibus acelerou para a direita, aumentando sua velocidade, o pêndulo assumiu a posição mostrada na figura abaixo:



O diagrama que melhor representa as forças que atuam no pêndulo, no momento considerado, é:

- A)
- B)
- C)
- D)

29

(IFSC) Um pássaro está em pé sobre uma das mãos de um garoto. É CORRETO afirmar que a reação à força que o pássaro exerce sobre a mão do garoto é a força:

- A) da Terra sobre a mão do garoto.
- B) do pássaro sobre a mão do garoto.
- C) da Terra sobre o pássaro.
- D) do pássaro sobre a Terra.
- E) da mão do garoto sobre o pássaro.

30

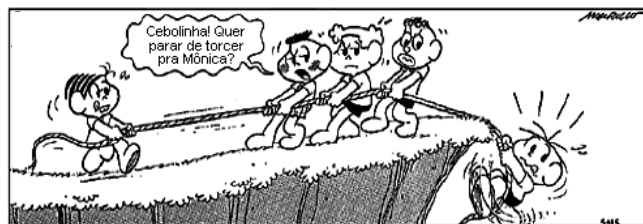
(UFSM) O uso de hélices para propulsão de aviões ainda é muito frequente. Quando em movimento, essas hélices empurram o ar para trás; por isso, o avião se move para frente. Esse fenômeno é explicado pelo(a)

- A) 1ª lei de Newton.
- B) 2ª lei de Newton.
- C) 3ª lei de Newton.
- D) princípio de conservação de energia.
- E) princípio da relatividade do movimento.

31

(UFRN) Em Tirinhas, é muito comum encontrarmos situações que envolvem conceitos de Física e que, inclusive, têm sua parte cômica relacionada, de alguma forma, com a Física.

Considere a tirinha envolvendo a "Turma da Mônica", mostrada a seguir.



Copyright ©1999 Mauricio de Sousa Produções Ltda. Todos os direitos reservados.

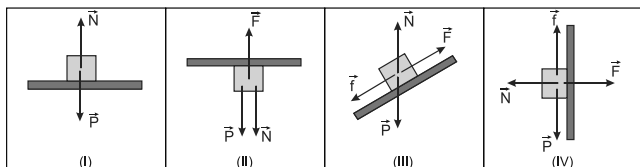
Supondo que o sistema se encontra em equilíbrio, é correto afirmar que, de acordo com a Lei da Ação e Reação (3ª Lei de Newton),

- A) a força que a Mônica exerce sobre a corda e a força que os meninos exercem sobre a corda formam um par ação-reação.
- B) a força que a Mônica exerce sobre o chão e a força que a corda faz sobre a Mônica formam um par ação-reação.
- C) a força que a Mônica exerce sobre a corda e a força que a corda faz sobre a Mônica formam um par ação-reação.
- D) a força que a Mônica exerce sobre a corda e a força que os meninos exercem sobre o chão formam um par ação-reação.



32

► (IFSC) A força de reação normal é uma força que surge quando existe contato entre o corpo e uma superfície, sendo definida como uma força de reação da superfície sobre a compressão que o corpo exerce sobre esta superfície. Abaixo temos quatro situações, com os respectivos diagramas de forças. Analise a representação da Força de Reação Normal ( $N$ ) em cada uma das situações.



Assinale a alternativa correta.

- A) A força de reação normal está corretamente representada em I, II e IV.  
 B) A força de reação normal está corretamente representada em I, II e III.  
 C) A força de reação normal está corretamente representada em I, III e IV.  
 D) A força de reação normal está corretamente representada em II, III e IV.  
 E) A força de reação normal está corretamente representada em todas as situações.

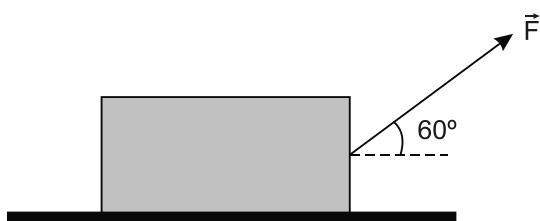
33

(PUC-MG) A força normal que age sobre um livro em repouso em uma mesa é a força que:

- A) a terra exerce sobre o livro.  
 B) a mesa exerce sobre o livro.  
 C) o livro exerce sobre a terra.  
 D) o livro exerce sobre a mesa.

34

► (UPE) Suponha um bloco de massa  $m = 2 \text{ kg}$  inicialmente em repouso sobre um plano horizontal sem atrito. Uma força  $F = 16 \text{ N}$  é aplicada sobre o bloco, conforme mostra a figura a seguir.

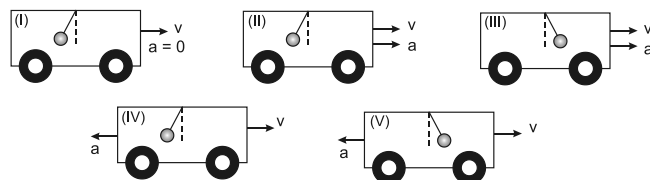


Qual é a intensidade da reação normal do plano de apoio e a aceleração do bloco, respectivamente, sabendo-se que  $\sin 60^\circ = 0,85$ ,  $\cos 60^\circ = 0,50$  e  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ?

- A) 6,4 N e  $4 \text{ m/s}^2$   
 B) 13,6 N e  $4 \text{ m/s}^2$   
 C) 20,0 N e  $8 \text{ m/s}^2$   
 D) 16,0 N e  $8 \text{ m/s}^2$   
 E) 8,00 N e  $8 \text{ m/s}^2$

35

► (UFPA) Belém tem sofrido com a carga de tráfego em suas vias de trânsito. Os motoristas de ônibus fazem frequentemente verdadeiros malabarismos, que impõem desconforto aos usuários devido às forças inerciais. Se fixarmos um pêndulo no teto do ônibus, podemos observar a presença de tais forças. Sem levar em conta os efeitos do ar em todas as situações hipotéticas, ilustradas abaixo, considere que o pêndulo está em repouso com relação ao ônibus e que o ônibus move-se horizontalmente.

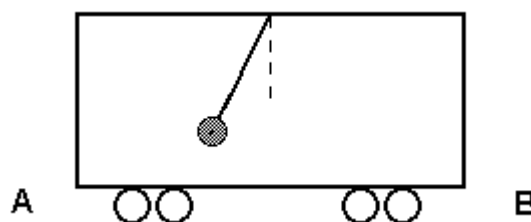


Sendo  $v$  a velocidade do ônibus e a sua aceleração, a posição do pêndulo está ilustrada corretamente

- A) na situação (I).  
 B) nas situações (II) e (V).  
 C) nas situações (II) e (IV).  
 D) nas situações (III) e (V).  
 E) nas situações (III) e (IV).

36

(UEL) Um observador vê um pêndulo preso ao teto de um vagão e deslocado da vertical como mostra a figura a seguir.



Sabendo que o vagão se desloca em trajetória retilínea, ele pode estar se movendo de

- A) A para B, com velocidade constante.  
 B) B para A, com velocidade constante.  
 C) A para B, com sua velocidade diminuindo.  
 D) B para A, com sua velocidade aumentando.  
 E) B para A, com sua velocidade diminuindo

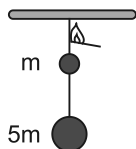
37

► (PUC-MG) Um fabricante de elevadores estabelece, por questões de segurança, que a força aplicada nos cabos de aço que sustentam seus elevadores não pode ser superior a  $1,2 \times 10^4 \text{ N}$ . Considere um desses elevadores com uma massa total de  $1,0 \times 10^3 \text{ kg}$  (massa do elevador com os passageiros) e admita  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Nessas condições, a aceleração máxima do elevador na subida não pode ser superior a:

- A)  $1,2 \text{ m/s}^2$   
 B)  $2,0 \text{ m/s}^2$   
 C)  $5,0 \text{ m/s}^2$   
 D)  $9,8 \text{ m/s}^2$

38

► (UFF) Dois corpos, um de massa  $m$  e outro de massa  $5m$ , estão conectados entre si por um fio e o conjunto encontra-se originalmente em repouso, suspenso por uma linha presa a uma haste, como mostra a figura. A linha que prende o conjunto à haste é queimada e o conjunto cai em queda livre.



Desprezando os efeitos da resistência do ar, indique a figura que representa corretamente as forças  $f_1$  e  $f_2$  que o fio faz sobre os corpos de massa  $m$  e  $5m$ , respectivamente, durante a queda.

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

39

► (IFSUL) Uma pessoa de massa igual a 65 kg está dentro de um elevador, inicialmente parado, que começa a descer. Durante um curto intervalo de tempo, o elevador sofre uma aceleração para baixo de módulo igual a  $2 \text{ m/s}^2$ . Considerando-se a aceleração gravitacional no local igual a  $10 \text{ m/s}^2$ , durante o tempo em que o elevador acelera a força normal exercida pelo piso do elevador na pessoa é igual a

- A) 520 N.
- B) 650 N.
- C) 780 N.
- D) zero.

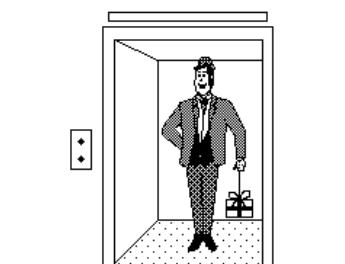
40

(UFLA) Um bloco de 10 Kg está preso no teto de um elevador por meio de um cabo que suporta uma tensão máxima de 150 N. quando o elevador começa a subir, o cabo se rompe ao atingir a tensão máxima. Considerando  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , é correto afirmar que, no momento da ruptura do cabo, a aceleração do elevador é:

- A)  $15 \text{ m/s}^2$
- B)  $5 \text{ m/s}^2$
- C)  $10 \text{ m/s}^2$
- D)  $25 \text{ m/s}^2$

41

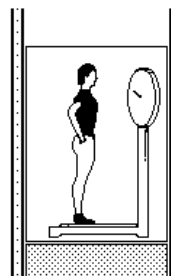
► (UFMG) Uma pessoa entra num elevador carregando uma caixa pendura por um barbante frágil, como mostra a figura. O elevador sai do 6º andar e só para no térreo.



- É correto afirmar que o barbante poderá arrebentar
- A) no momento em que o elevador entra em movimento, no 6º andar.
  - B) no momento em que o elevador parar no térreo.
  - C) quando o elevador estiver em movimento, entre o 5º e o 2º andares.
  - D) somente numa situação em que o elevador estiver subindo.

42

► (PUC-Camp) No piso de um elevador é colocada uma balança graduada em newtons. Um menino, de massa 40 kg, sobe na balança quando o elevador está descendo acelerado, com aceleração de módulo  $3,0 \text{ m/s}^2$ , como representa a figura a seguir.



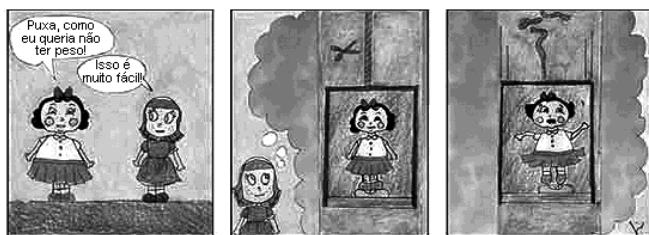
Se a aceleração da gravidade vale  $9,8 \text{ m/s}^2$ , a balança estará indicando, em N, um valor mais próximo de

- A) 120
- B) 200
- C) 270
- D) 400
- E) 520



43

► (Unesp) Observe a tirinha

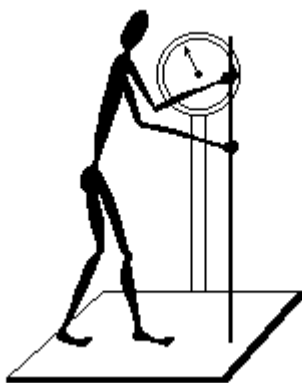


Uma garota de 50 kg está em um elevador sobre uma balança calibrada em newtons. O elevador move-se verticalmente, com aceleração para cima na subida e com aceleração para baixo na descida. O módulo da aceleração é constante e igual a  $2 \text{ m/s}^2$  em ambas situações. Considerando  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , a diferença, em newtons, entre o peso aparente da garota, indicado na balança, quando o elevador sobe e quando o elevador desce, é igual a

- A) 50.
- B) 100.
- C) 150.
- D) 200.
- E) 250.

44

► (UEL) Uma pessoa apóia-se em um bastão sobre uma balança, conforme a figura a seguir. A balança assinala 70 kg. Se a pessoa pressiona a bengala, progressivamente, contra a balança, a nova leitura:



- A) Indicará um valor maior que 70 kg.
- B) Indicará um valor menor que 70 kg.
- C) Indicará os mesmos 70 kg.
- D) Dependerá da força exercida sobre o bastão.
- E) Dependerá do ponto em que o bastão é apoiado na balança.

45

(FCMMG) Uma pessoa de 70 kg sobe em uma balança. Pode-se afirmar que:

- A) a balança marcará 700 N para o peso dessa pessoa, independente do lugar na Terra onde a balança estiver.
- B) a balança marcará mais do que 70 kgf se for colocada dentro de um elevador que sobe com velocidade constante.
- C) o peso da pessoa e a força que a balança exerce sobre ela constituem um par de ação e reação.
- D) a leitura da balança será menor que 700 N se a pessoa se pesar na superfície lunar.

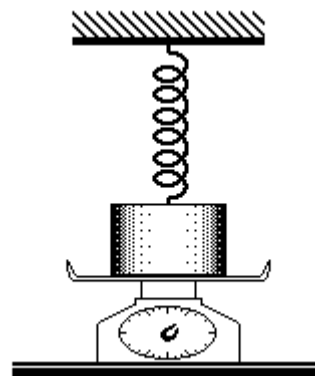
46

(PUC-MG) Um dinamômetro é construído utilizando-se uma mola cuja constante elástica é  $K = 800 \text{ N/m}$ . Pode-se afirmar que um deslocamento de 1,0 cm, na escala desse dinamômetro, corresponde a uma força, em newtons, de:

- A) 60
- B) 8,0
- C) 800
- D) 40

47

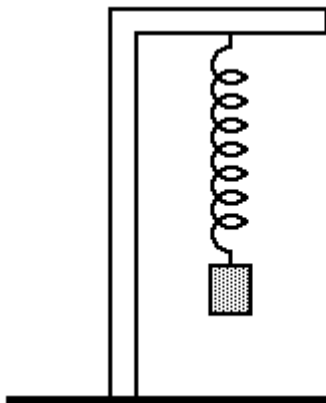
► (PUC-SP) A mola da figura tem constante elástica 20 N/m e encontra-se deformada de 20 cm sob a ação do corpo A cujo peso é 5 N. Nessa situação, a balança, graduada em newtons, marca



- A) 1 N
- B) 2 N
- C) 3 N
- D) 4 N
- E) 5 N

48

(UEL) Certa mola helicoidal, presa num suporte vertical, tem comprimento de 12 cm. Quando se prende à mola um corpo de 200 g ela passa a medir 16 cm.



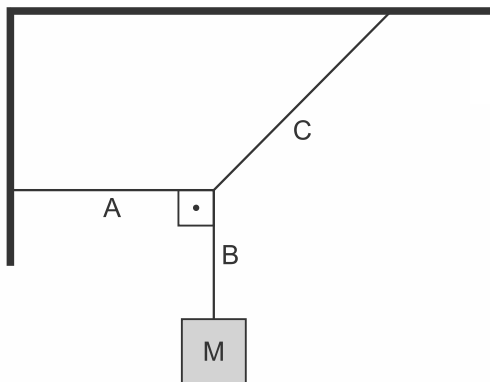
**Dado:**  
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

A constante elástica da mola vale, em N/m,

- A) 5
- B) 50
- C) 500
- D) 5.000
- E) 50.000

49

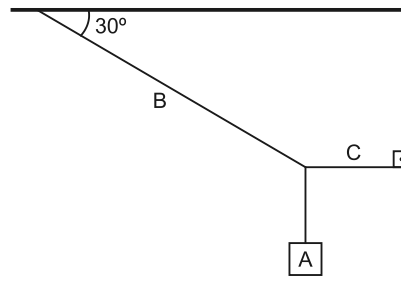
(PUC-RS) No sistema apresentado na figura abaixo, o bloco M está em equilíbrio mecânico em relação a um referencial inercial. Os três cabos, A, B e C, estão submetidos, cada um, a tensões respectivamente iguais a  $T_A$ ,  $T_B$  e  $T_C$ . Qual das alternativas abaixo representa corretamente a relação entre os módulos dessas forças tensoras?



- A)  $T_A > T_C$
- B)  $T_A < T_C$
- C)  $T_A = T_C$
- D)  $T_B = T_C$
- E)  $T_B > T_C$

50

(IFSUL) Uma caixa A, de peso igual a 300 N, é suspensa por duas cordas B e C conforme a figura abaixo.

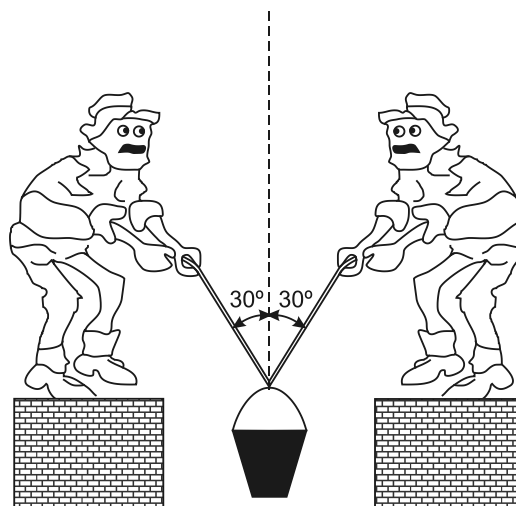


O valor da tração na corda B é igual a

- A) 150,0 N.
- B) 259,8 N.
- C) 346,4 N.
- D) 600,0 N.

51

(PUC-RS) Dois operários suspendem um balde por meio de cordas, conforme mostra o esquema a seguir.



Sabe-se que o balde, com seu conteúdo, tem peso 50 N e que o ângulo formado entre as partes da corda no ponto de suspensão é 60°. A corda pode ser considerada como ideal (inextensível e de massa desprezível).

Quando o balde está suspenso no ar, em equilíbrio, a força exercida por um operário, medida em newtons, vale:

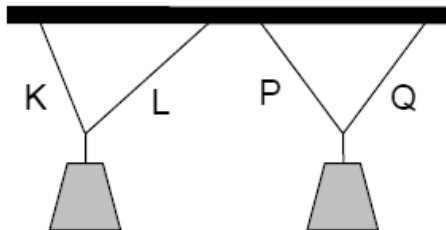
- A) 50
- B) 25
- C)  $\frac{50}{\sqrt{3}}$
- D)  $25\sqrt{2}$
- E) 0,0





52

- (FASEH) Na figura abaixo estão representadas duas formas de se pendurar um lustre. No lustre da esquerda, as cordas K e L, indicadas na figura, fazem os ângulos de  $30^\circ$  e  $60^\circ$  e estão com as tensões  $T_K$  e  $T_L$  respectivamente. No lustre da direita, as cordas P e Q, também indicadas na figura, têm os dois ângulos iguais a  $45^\circ$  e estão com as tensões  $T_P$  e  $T_Q$  respectivamente.

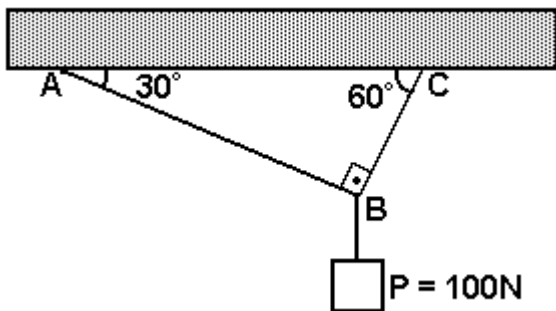


Comparando os módulos dessas tensões, é correto afirmar que

- A)  $T_K < T_L$  e  $T_K < T_P$   
 B)  $T_K < T_L$  e  $T_K > T_P$   
 C)  $T_K > T_L$  e  $T_K < T_P$   
 D)  $T_K > T_L$  e  $T_K > T_P$

53

- (Unirio)

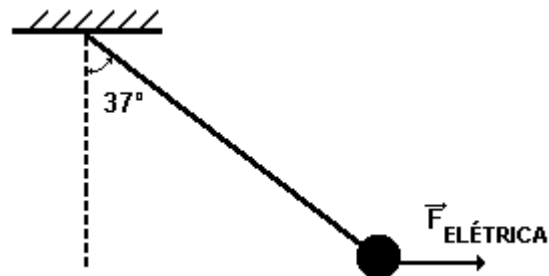


Na figura anterior, o corpo suspenso tem o peso 100N. Os fios são ideais e têm pesos desprezíveis, o sistema está em equilíbrio estático (repouso). A tração na corda AB, em N, é:

- A) 20  
 B) 40  
 C) 50  
 D) 80  
 E) 100

54

- (Fatec) Uma pequena esfera de massa igual a 4,0 g, carregada eletricamente, está suspensa por uma corda. Sob a ação de uma força elétrica horizontal, a corda se desloca até que atinge o equilíbrio ao formar um ângulo de  $37^\circ$  com a vertical.

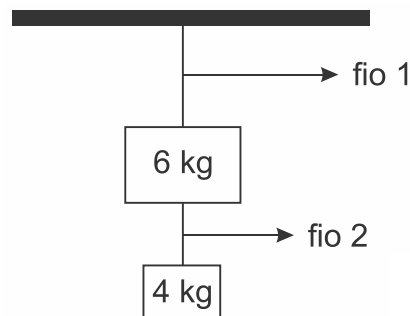


Sabendo que  $\cos 37^\circ = 0,80$  e  $\sin 37^\circ = 0,60$ , a intensidade da força elétrica e a tensão na corda são, respectivamente:

- A) 70 N e 56 N  
 B) 30 N e 50 N  
 C) 7,0 N e 5,6 N  
 D) 3,0 N e 5,0 N  
 E)  $3,0 \times 10^{-2}$  N e  $5,0 \times 10^{-2}$  N

55

- (IFSULI) O sistema abaixo está em equilíbrio.

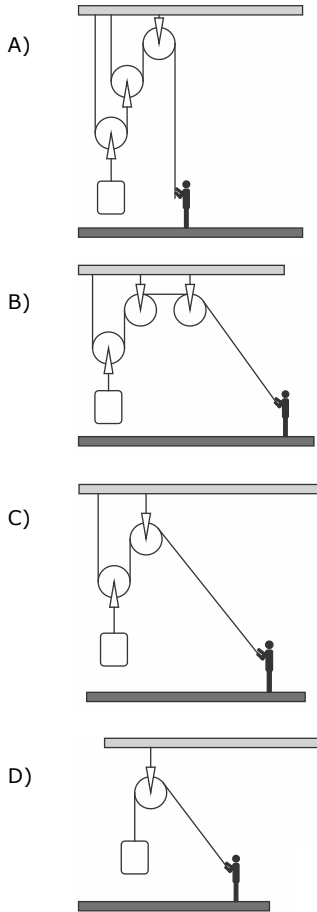


A razão  $\frac{T_1}{T_2}$  entre as intensidades das trações nos fios ideais 1 e 2 vale

- A)  $\frac{2}{5}$   
 B)  $\frac{2}{3}$   
 C)  $\frac{3}{2}$   
 D)  $\frac{5}{2}$

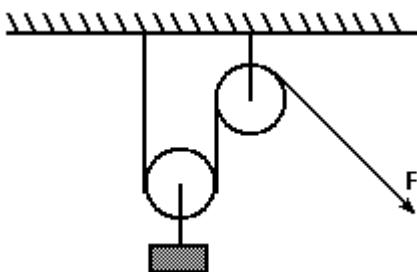
56

► (CEFET-MG) Quatro funcionários de uma empresa receberam a tarefa de guardar caixas pesadas de 100 kg em prateleiras elevadas de um depósito. Como nenhum deles conseguiria suspender sozinho pesos tão grandes, cada um resolveu montar um sistema de roldanas para a tarefa. O dispositivo que exigiu menos força do operário que o montou, foi



57

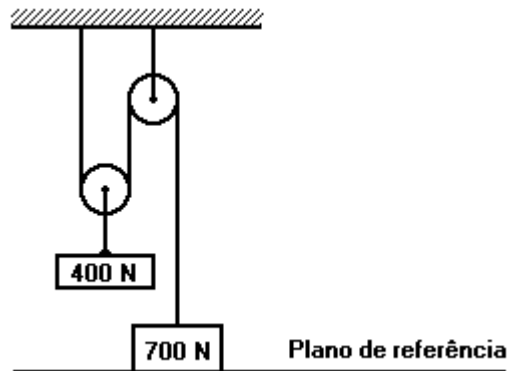
(CEFET-CE) A figura a seguir mostra um peso de 500 N sustentado por uma pessoa que aplica uma força  $F$ , auxiliada pelo sistema de roldanas de pesos desprezíveis e sem atrito. O valor do módulo da força  $F$ , que mantém o sistema em equilíbrio, vale, em newtons:



- A) 50
- B) 500
- C) 1000
- D) 25
- E) 250

58

► (PUC-MG) A figura mostra um bloco, de peso igual a 700 N, apoiado num plano horizontal, sustentando um corpo de 400 N de peso, por meio de uma corda inextensível, que passa por um sistema de roldanas consideradas ideais.

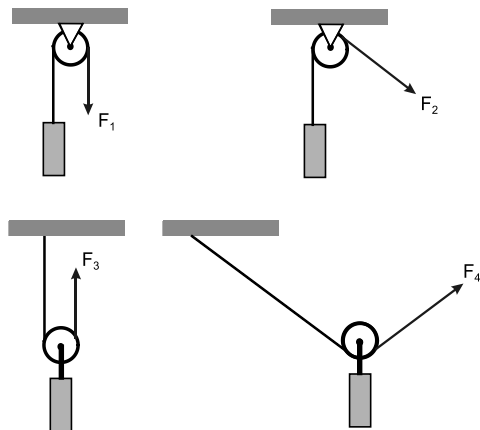


O módulo da força do plano sobre o bloco é:

- A) 1100 N
- B) 500 N
- C) 100 N
- D) 300 N
- E) 900 N

59

(UFMG) Observe estes quatro sistemas de roldanas, em que objetos de mesma massa são mantidos suspensos, em equilíbrio, por uma força aplicada na extremidade da corda:



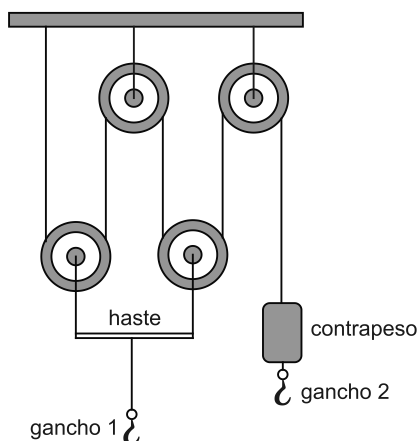
Sejam  $F_1, F_2, F_3$  e  $F_4$  as forças que atuam numa das extremidades das cordas em cada um desses sistemas, como representado na figura. Observe que, em dois desses sistemas, a roldana é fixa e, nos outros dois, ela é móvel. Considere que, em cada um desses sistemas, a roldana pode girar livremente ao redor do seu eixo; que a corda é inextensível; e que a massa da roldana e a da corda são desprezíveis. Considerando-se essas informações, em relação aos módulos dessas quatro forças, é correto afirmar que:

- A)  $F_1 = F_2$  e  $F_3 = F_4$ .
- B)  $F_1 < F_2$  e  $F_3 < F_4$ .
- C)  $F_1 = F_2$  e  $F_3 < F_4$ .
- D)  $F_1 < F_2$  e  $F_3 = F_4$ .



60

- (IFSP) Para facilitar a movimentação vertical de motores pesados em sua oficina, um mecânico montou a associação de roldanas mostrada de forma simplificada na figura. Todos os fios, roldanas, os ganchos 1 e 2 e a haste horizontal têm massas desprezíveis. Um motor de peso  $P$  será pendurado no gancho 1 e um contrapeso, de peso  $\frac{P}{5}$ , é permanentemente mantido na posição indicada na montagem.

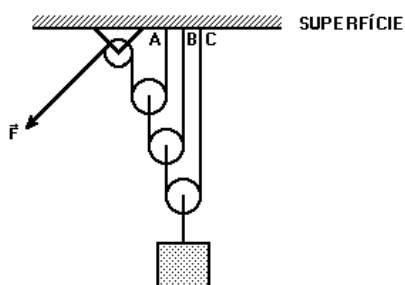


O motor permanecerá em repouso, sem contato com o solo, se no gancho 2, preso no contrapeso, for pendurado outro corpo de peso

- A)  $\frac{P}{2}$   
 B)  $\frac{P}{4}$   
 C)  $\frac{P}{8}$   
 D)  $\frac{P}{10}$   
 E)  $\frac{P}{20}$ .

61

- (Cesgranrio) Um corpo de peso  $P$  encontra-se em equilíbrio, devido à ação da força  $F$ , como indica a figura a seguir:

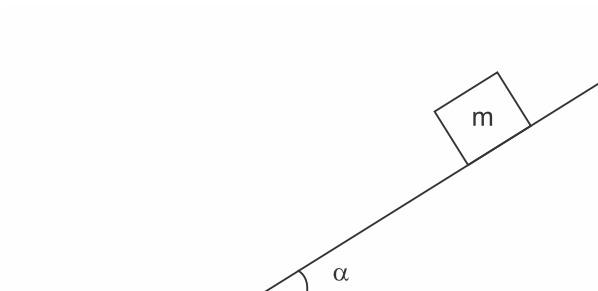


Os pontos A, B e C são os pontos de contato entre os fios e a superfície. A força que a superfície exerce sobre os fios nos pontos A, B e C são, respectivamente:

- A)  $P/8, P/4, P/2$   
 B)  $P/8, P/2, P/4$   
 C)  $P/2, P/4, P/8$   
 D)  $P, P/2, P/4$   
 E) iguais a  $P$

### TEXTO PARA AS PRÓXIMAS 2 QUESTÕES:

Na figura abaixo, um bloco de massa  $m$  é colocado sobre um plano inclinado, sem atrito, que forma um ângulo  $\alpha$  com a direção horizontal. Considere  $g$  o módulo da aceleração da gravidade.



62

(Ufrgs) O módulo da força resultante sobre o bloco é igual a

- A)  $mg \cdot \cos \alpha$   
 B)  $mg \cdot \sin \alpha$   
 C)  $mg \cdot \tan \alpha$   
 D)  $mg$   
 E) zero.

63

(Ufrgs) Nessa situação, os módulos da força peso do bloco e da força normal sobre o bloco valem, respectivamente,

- A)  $mg$  e  $mg$   
 B)  $mg$  e  $mg \cdot \sin \alpha$   
 C)  $mg$  e  $mg \cdot \cos \alpha$   
 D)  $mg \cdot \sin \alpha$  e  $mg$   
 E)  $mg \cdot \cos \alpha$  e  $mg \cdot \sin \alpha$

64

(PUC-MG) Um bloco de 5 kg e um bloco de 10 kg deslizam por um plano inclinado sem atrito. Pode-se afirmar que:

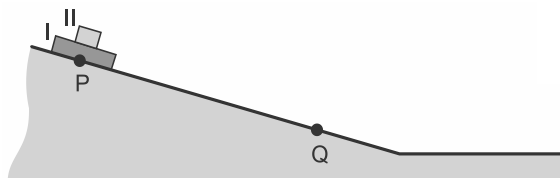
- A) ambos têm a mesma aceleração.  
 B) o bloco de 5 kg tem o dobro da aceleração do bloco de 10 kg.  
 C) o bloco de 10 kg tem o dobro da aceleração do bloco de 5 kg.  
 D) a aceleração dos blocos depende da força normal do plano sobre eles.

65

▶ (UFMG) Durante uma aula de Física, o professor Domingos Sávio faz, para seus alunos, a demonstração que se descreve a seguir. Inicialmente, dois blocos - I e II - são colocados, um sobre o outro, no ponto P, no alto de uma rampa, como representado na figura.

Em seguida, solta-se o conjunto formado por esses dois blocos. Despreze a resistência do ar e o atrito entre as superfícies envolvidas.

Assinale a alternativa cuja figura melhor representa a posição de cada um desses dois blocos, quando o bloco I estiver passando pelo ponto Q da rampa.



- A)
- B)
- C)
- D)

66

▶ (Fatec) Certa mola, presa a um suporte, sofre alongamento de 8,0 cm quando se prende à sua extremidade um corpo de peso 12 N, como na figura 1.

A mesma mola, tendo agora em sua extremidade o peso de 10 N, é fixada ao topo de um plano inclinado de 37°, sem atrito, como na figura 2.

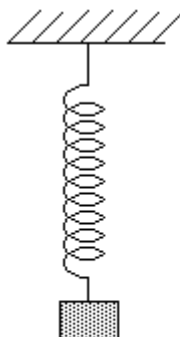


Figura 1

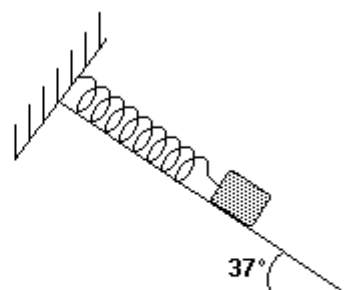


Figura 2

Dados:  $\text{sen } 37^\circ = 0,60$   
 $\text{cos } 37^\circ = 0,80$

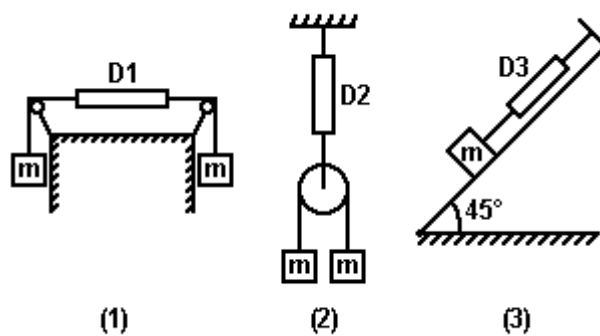
Neste caso, o alongamento da mola é, em cm;

- A) 4,0
- B) 5,0
- C) 6,0
- D) 7,0
- E) 8,0

67

▶ (Fei) Os sistemas 1, 2 e 3 estão em equilíbrio. Qual é aproximadamente a leitura dos dinamômetros em cada caso?

Dados:  $m = 5 \text{ kg}$

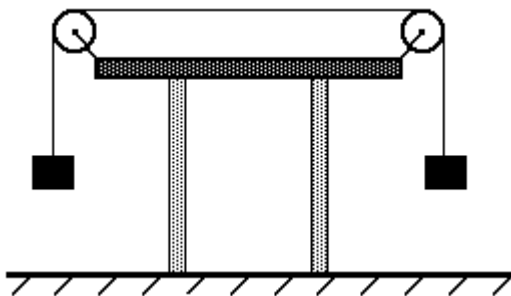


- A)  $D_1 = 100 \text{ N}$ ,  $D_2 = 100 \text{ N}$ ,  $D_3 = 50 \text{ N}$
- B)  $D_1 = 100 \text{ N}$ ,  $D_2 = 50 \text{ N}$ ,  $D_3 = 50 \text{ N}$
- C)  $D_1 = 100 \text{ N}$ ,  $D_2 = 100 \text{ N}$ ,  $D_3 = 25 \text{ N}$
- D)  $D_1 = 50 \text{ N}$ ,  $D_2 = 50 \text{ N}$ ,  $D_3 = 25 \text{ N}$
- E)  $D_1 = 50 \text{ N}$ ,  $D_2 = 100 \text{ N}$ ,  $D_3 = 35 \text{ N}$



68

(UFMG) Dois blocos iguais estão conectados por um fio de massa desprezível, como mostra a figura.



A força máxima que o fio suporta sem se arrebentar é de 70 N.

Em relação à situação apresentada, assinale a alternativa correta.

- A) O maior valor para o peso de cada bloco que o fio pode suportar é 35 N.
- B) O fio não arrebenta porque as forças se anulam.
- C) O maior valor para o peso de cada bloco que o fio suporta é de 140 N.
- D) O maior valor para o peso de cada bloco que o fio pode suportar é 70 N.

69

- (FCMMG) Num haras existem dois cavalos do mesmo porte, que exercem forças idênticas ao puxar uma corda. Na figura 1, a corda presa numa parede é puxada por um cavalo e se encontra no limite de seu rompimento. Na figura 2, os cavalos também puxam a corda, que também se encontra no limiar de ruptura. Na figura 1, a tensão na corda vale  $T_1$  e na figura 2, vale  $T_2$ .

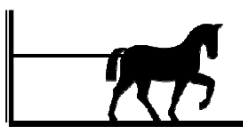


Figura 1

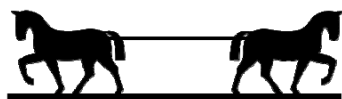


Figura 2

Pode-se afirmar que:

- A)  $T_2 = T_1$
- B)  $T_2 = 2 T_1$
- C)  $T_2 = 4 T_1$
- D)  $T_2 = 1/2 T_1$

70

- (UECE) Uma criança desliza em um tobogã muito longo, com uma aceleração constante. Em um segundo momento, um adulto, com o triplo do peso da criança, desliza por esse mesmo tobogã, com aceleração também constante. Trate os corpos do adulto e da criança como massas puntiformes e despreze todos os atritos. A razão entre a aceleração do adulto e a da criança durante o deslizamento é

- A) 1.
- B) 2.
- C) 1/3.
- D) 4.

71

(Enem PPL) Durante uma faxina, a mãe pediu que o filho a ajudasse, deslocando um móvel para mudá-lo de lugar. Para escapar da tarefa, o filho disse ter aprendido na escola que não poderia puxar o móvel, pois a Terceira Lei de Newton define que se puxar o móvel, o móvel o puxará igualmente de volta, e assim não conseguirá exercer uma força que possa colocá-lo em movimento. Qual argumento a mãe utilizará para apontar o erro de interpretação do garoto?

- A) A força de ação é aquela exercida pelo garoto.
- B) A força resultante sobre o móvel é sempre nula.
- C) As forças que o chão exerce sobre o garoto se anulam.
- D) A força de ação é um pouco maior que a força de reação.
- E) O par de forças de ação e reação não atua em um mesmo corpo.

72

(Enem PPL) Com um dedo, um garoto pressiona contra a parede duas moedas, de R\$ 0,10 e R\$ 1,00, uma sobre a outra, mantendo-as paradas. Em contato com o dedo está a moeda de R\$ 0,10 e contra a parede está a de R\$ 1,00. O peso da moeda de R\$ 0,10 é 0,05 N e o da de R\$ 1,00 é 0,09 N. A força de atrito exercida pela parede é suficiente para impedir que as moedas caiam.

Qual é a força de atrito entre a parede e a moeda de R\$ 1,00 ?

- A) 0,04 N
- B) 0,05 N
- C) 0,07 N
- D) 0,09 N
- E) 0,14 N

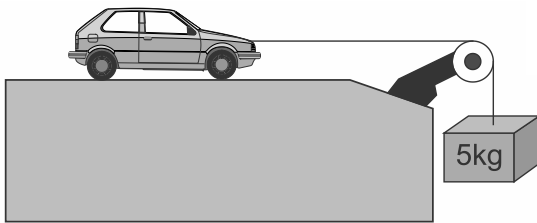
**MÓDULO 02: SISTEMA DE CORPOS**

Neste módulo será analisado o movimento retilíneo de sistemas de blocos sobre superfícies horizontais e sobre superfícies inclinadas, além do movimento vertical de blocos suspensos. Para isso, usaremos as três leis de Newton. De modo geral, o método de análise desses sistemas consiste, basicamente, dos procedimentos que se seguem:

- I. Representar todas as forças que atuam nos corpos envolvidos no sistema.
- II. Identificar para onde aponta a aceleração do sistema.
- III. Após identificar a aceleração, identificar a direção e o sentido da força resultante.
- IV. Escrever a 2ª lei de Newton para cada corpo envolvido no sistema.
- V. Resolver o sistema de equações e encontrar as incógnitas.

**Exercício Resolvido** .....

(Ear) Um carrinho é puxado em um sistema sem atrito por um fio inextensível numa região de aceleração gravitacional igual a  $10 \text{ m/s}^2$  como mostra a figura.



Sabendo que o carrinho tem massa igual a  $200 \text{ g}$  sua aceleração, em  $\text{m/s}^2$ , será aproximadamente:

- F) 12,6
- G) 10
- H) 9,6
- I) 8

**Resolução:**

$$\begin{cases} T = m_c \cdot a \\ P_b - T = m_b \cdot a \end{cases}$$

$$P_b = (m_b + m_c) \cdot a$$

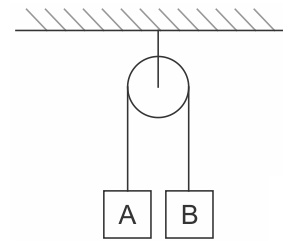
$$m_b \cdot g = (m_b + m_c) \cdot a$$

$$a = \frac{m_b \cdot g}{(m_b + m_c)} \Rightarrow a = \frac{5 \cdot 10}{5,2} \Rightarrow a \cong 9,6 \text{ m/s}^2$$

Gabarito: Letra C

**Exercício Resolvido** .....

(Uern) O sistema a seguir apresenta aceleração de  $2 \text{ m/s}^2$  e a tração no fio é igual a  $72 \text{ N}$ . Considere que a massa de A é maior que a massa de B, o fio é inextensível e não há atrito na polia.



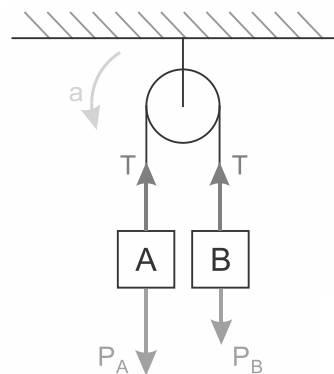
A diferença entre as massas desses dois corpos é igual a (Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

- A) 1 kg
- B) 3 kg
- C) 4 kg
- D) 6 kg

**Resolução:**

Como a massa do bloco A é maior que a massa do bloco B, a tendência do sistema de blocos é "girar" no sentido anti-horário, ou em outras palavras, o bloco A descer e o bloco B subir.

Desta forma, temos que:



Analisando os blocos separadamente, temos que no bloco A só existe duas forças atuando, sendo elas o peso do bloco A e a tração do fio. Assim,

$$F_R = m_A \cdot a = P_A - T$$

$$2 \cdot m_A = 10 \cdot m_A - 72$$

$$8 \cdot m_A = 72$$

$$m_A = 9 \text{ kg}$$

Analogamente, no bloco B temos duas forças atuando, sendo elas o peso do bloco e a tração do fio. Assim,

$$F_R = m_B \cdot a = T - P_B$$

$$2 \cdot m_B = 72 - 10 \cdot m_B$$

$$12 \cdot m_B = 72$$

$$m_B = 6 \text{ kg}$$

Assim, a diferença entre as massas dos blocos será de:

$$m_A - m_B = 9 - 6 = 3 \text{ kg}$$

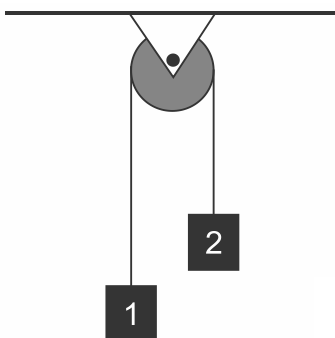
Gabarito: Letra B



## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

73

▶ (CEFET-MG) A figura abaixo ilustra uma máquina de Atwood.

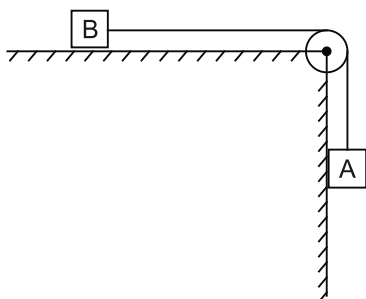


Supondo-se que essa máquina possua uma polia e um cabo de massas insignificantes e que os atritos também são desprezíveis, o módulo da aceleração dos blocos de massas iguais a  $m_1 = 1,0 \text{ kg}$  e  $m_2 = 2,0 \text{ kg}$ , em  $\text{m/s}^2$ , é

- A) 20
- B) 10
- C) 5,0
- D) 2,0

74

▶ (CEFET-MG) Na figura, os blocos A e B, com massas iguais a 5 e 20 kg, respectivamente, são ligados por meio de um cordão inextensível.

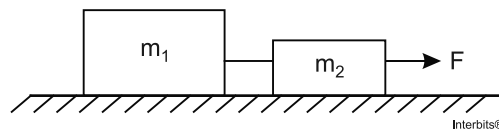


Desprezando-se as massas do cordão e da roldana e qualquer tipo de atrito, a aceleração do bloco A, em  $\text{m/s}^2$ , é igual a

- A) 1,0.
- B) 2,0.
- C) 3,0.
- D) 4,0.

75

▶ (Ufrgs) Dois blocos, de massas  $m_1=3,0 \text{ kg}$  e  $m_2=1,0 \text{ kg}$ , ligados por um fio ideal inextensível, podem deslizar sem atrito sobre um plano horizontal. Esses blocos são puxados por uma força horizontal  $F$  de módulo  $F=6 \text{ N}$ , conforme a figura a seguir.

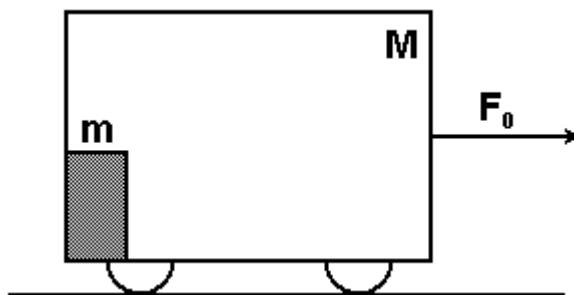


As forças resultantes sobre  $m_1$  e  $m_2$  são, respectivamente,

- A) 3,0 N e 1,5 N.
- B) 4,5 N e 1,5 N.
- C) 4,5 N e 3,0 N.
- D) 6,0 N e 3,0 N.
- E) 6,0 N e 4,5 N.

76

▶ (UFPI)

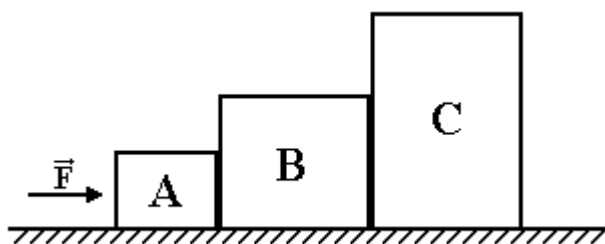


O carrinho da figura tem massa  $M = 15 \text{ kg}$  e está acelerado pela força  $F_0$ . O bloco de massa  $m = 5,0 \text{ kg}$  está em repouso em relação ao carrinho. Não há atrito entre o carrinho e o bloco. A força horizontal exercida pelo carrinho sobre o bloco é o vetor:

- A)  $F_0/4$
- B)  $F_0/2$ .
- C)  $F_0$ .
- D)  $F_0/3$ .
- E)  $2F_0/3$ .

77

- (UECE) Três corpos A, B e C, de massas  $m_A = 2 \text{ kg}$ ,  $m_B = 6 \text{ kg}$  e  $m_C = 12 \text{ kg}$ , estão apoiados em uma superfície plana, horizontal e idealmente lisa. Ao bloco A é aplicada a força horizontal  $F = 10 \text{ N}$ .

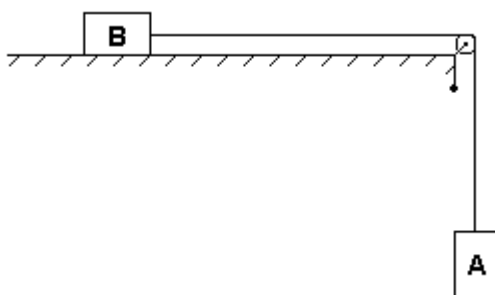


A força que B exerce sobre C vale, em newtons:

- A) 2
- B) 4
- C) 6
- D) 10

78

- (Unifesp) Na representação da figura, o bloco A desce verticalmente e traciona o bloco B, que se movimenta em um plano horizontal por meio de um fio inextensível. Considere desprezíveis as massas do fio e da roldana e todas as forças de resistência ao movimento.



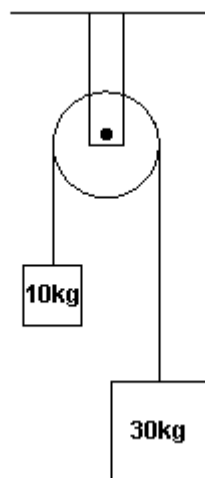
Suponha que, no instante representado na figura, o fio se quebre. Pode-se afirmar que, a partir desse instante,

- A) o bloco A adquire aceleração igual à da gravidade; o bloco B para.
- B) o bloco A adquire aceleração igual à da gravidade; o bloco B passa a se mover com velocidade constante.
- C) o bloco A adquire aceleração igual à da gravidade; o bloco B reduz sua velocidade e tende a parar.
- D) os dois blocos passam a se mover com velocidade constante.
- E) os dois blocos passam a se mover com a mesma aceleração.

79

- (PUC-MG) Na montagem experimental ilustrada a seguir, os fios e a polia têm massas desprezíveis e pode-se desconsiderar o atrito no eixo da polia.

Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$

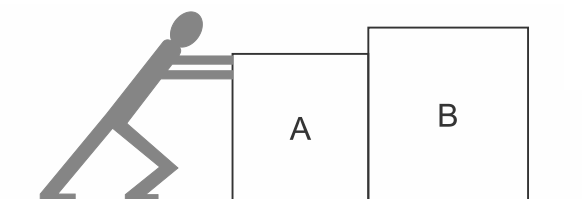


Nessas condições, é correto afirmar:

- A) Os corpos movem-se com velocidade constante.
- B) A tensão no fio é de 30 N.
- C) A força do conjunto sobre a haste de sustentação é de 50 N.
- D) A aceleração dos corpos é de 5,0  $\text{m/s}^2$ .

80

- (CEFET-MG) Um trabalhador empurra um conjunto formado por dois blocos A e B de massas 4 kg e 6 kg, respectivamente, exercendo sobre o primeiro uma força horizontal de 50 N, como representado na figura a seguir.



Admitindo-se que não exista atrito entre os blocos e a superfície, o valor da força que A exerce em B, em newtons, é

- A) 50
- B) 30
- C) 20
- D) 10





### MÓDULO 03: FORÇA DE ATRITO

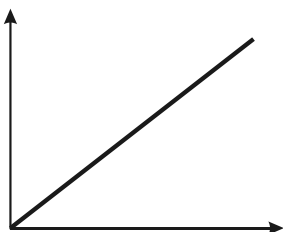
A força de atrito está muito presente em nossas vidas. Em várias situações, ela é indesejada e em várias outras ela é extremamente necessária. Você sabia que você anda por causa do atrito? Tente reparar que, ao caminhar, você empurra suavemente o chão para trás e, o chão, te empurra de volta para frente e te coloca em movimento. Essa força que o chão exercer nos seus pés é atrito! Você consegue pensar em outras situações em que o atrito seria necessário?

Em outras situações, o atrito apenas atrapalha. Em um escorregador, por exemplo. Quanto menor for o atrito no escorregador, mais divertido ele será!

A força de atrito existe devido à interação entre as superfícies de dois corpos em contato. Como essas superfícies não são totalmente lisas, microscopicamente falando, as imperfeições de uma se encaixam nas imperfeições da outra superfície, originando o atrito. Em alguns casos, o atrito pode ser considerado desprezível pelo fato dos corpos envolvidos possuírem superfícies muito lisas.

#### Exercício Resolvido .....

(Uff) Um carro desloca-se para frente em linha reta sobre uma estrada horizontal e plana com uma velocidade que varia em função do tempo, de acordo com o gráfico mostrado na figura.

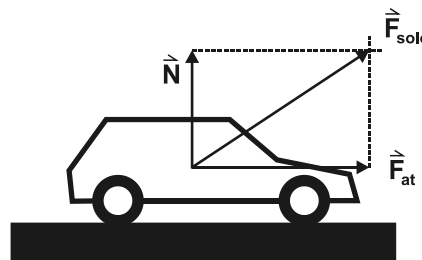


Escolha a opção que representa a força resultante que o solo faz sobre o carro.

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

#### Resolução:

Como destacado na figura a seguir, o solo aplica no carro uma força de contato que tem duas componentes: a normal (N) vertical para cima, e a força de atrito ( $F_{at}$ ). O gráfico dado no enunciado indica que o módulo da velocidade está aumentando, ou seja, o movimento é acelerado; logo essa força de atrito é no mesmo sentido da velocidade. A força que o solo aplica no carro é a soma dessas componentes.



Gabarito: Letra A

Para entender melhor a força de atrito, vamos imaginar a seguinte situação: um bloco em repouso sobre a superfície de uma mesa e constantemente empurrado para a direita pela força F. Vamos supor inicialmente que, a força F que empurra o bloco não é suficiente para colocá-lo em movimento. O movimento do bloco é impedido pela força de atrito  $f_a$ . Veja:



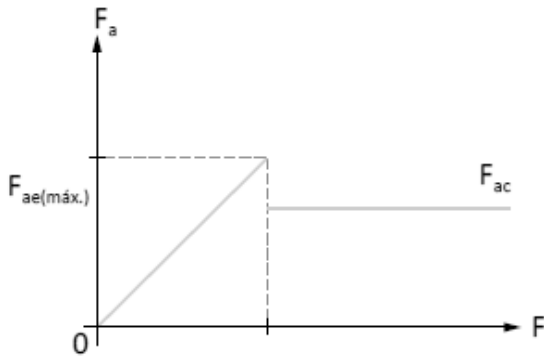
Sabemos da nossa vida prática que, se aumentarmos a força F de maneira gradativa, em um determinado ponto o bloco entrará em movimento. Digamos que o bloco fique em repouso até que a força F atinja 50 N. Assim podemos montar o quadro abaixo:

Valor da força F	Situação do bloco	Valor da força de atrito
10 N	repouso	10 N
25 N	repouso	25 N
40 N	repouso	40 N
50 N	iminência do movimento	50 N

Como o bloco fica em repouso até a força F atingir 50 N, a força de atrito tem que possuir sempre o mesmo valor da força F, para que a resultante no bloco seja nula. Assim, a força de atrito que atua no bloco enquanto ele ainda está em repouso, é chamada de atrito estático e assume vários valores, dependendo do valor da força que empurra o bloco.

Quando a força F atinge exatamente 50 N, dizemos que o bloco está na iminência do movimento. Isso quer dizer que, apesar de estar parado, ele está prestes a se mover. Se a força F aumentar de uma quantidade mínima, ela será capaz de colocar o bloco em movimento. Nessa situação, a força de atrito apresenta o seu valor máximo e é conhecido como força de atrito estático máximo.

No entanto, quando a força  $F$  aplicada ao bloco ultrapassar 50 N, ele entrará em movimento e a força de atrito passará a ter características diferentes. Com o bloco em movimento, o atrito passa a ser chamado de atrito cinético. Diferentemente do atrito estático, o atrito cinético é uma força de módulo constante e sempre menor do que o atrito estático máximo. O gráfico abaixo ilustra muito bem o comportamento da força de atrito, desde o instante em que o bloco começa a ser empurrado até momentos bem posteriores a ele entrar em movimento. Veja:



Repare no gráfico, no momento em que o atrito deixa de ser estático e passa a ser cinético, como a força diminui e passa a ficar constante.

Para calcularmos o valor da força de atrito, devemos levar em consideração se as superfícies envolvidas são muito ou pouco ásperas. Para determinar isso, utilizamos uma grandeza denominada coeficiente de atrito. O valor desse coeficiente dependerá das duas superfícies envolvidas e será maior se as superfícies forem ásperas.

Para cada par de superfícies existirá sempre dois valores do coeficiente de atrito: o coeficiente de atrito estático  $\mu_e$  e o coeficiente de atrito cinético  $\mu_c$ . Os valores dos coeficientes, são tabelados e, por isso, não é preciso decorá-los. Em geral, o coeficiente estático possui um valor maior do que o coeficiente de atrito cinético.

No entanto, em algumas poucas situações, esses valores são muito próximos, ou até mesmo iguais. Mas o coeficiente de atrito cinético jamais será maior do que o estático.

$$\mu_e > \mu_c$$

Você viu que a força de atrito estática é variável até atingir um valor máximo, denominado força de atrito estático máximo (iminência do movimento). O atrito estático máximo pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$fat_e^{máx} = \mu_e \cdot N$$

Ao entrar em movimento, o atrito atuante passa a ser o atrito cinético. A força de atrito cinético tem um valor constante dado por:

$$fat_c = \mu_c \cdot N$$

Perceba que a força de atrito é proporcional ao coeficiente, mas também é proporcional à reação normal  $N$ . Isso faz sentido porque a normal é a reação da força de compressão e, portanto, possui o mesmo módulo que ela. Assim, quanto maior for a compressão entre as superfícies, maior será o atrito. Isso explica porque é tão difícil empurrar um pesado guarda-roupas.

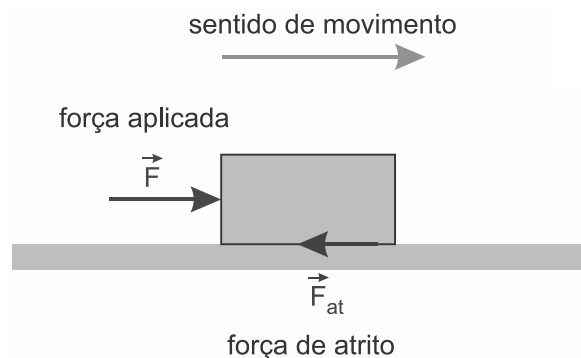
**Exercício Resolvido** .....

(PUC-RS) Sobre uma caixa de massa 120 kg, atua uma força horizontal constante  $F$  de intensidade 600 N. A caixa encontra-se sobre uma superfície horizontal em um local no qual a aceleração gravitacional é  $10 \text{ m/s}^2$ . Para que a aceleração da caixa seja constante, com módulo igual a  $2 \text{ m/s}^2$ , e tenha a mesma orientação da força  $F$ , o coeficiente de atrito cinético entre a superfície e a caixa deve ser de

- A) 0,1
- B) 0,2
- C) 0,3
- D) 0,4
- E) 0,5

**Resolução:**

Diagrama de corpo livre:



Aplicando-se a segunda lei de Newton:  $F_{res} = m \cdot a$

$$F - F_{at} = m \cdot a \Rightarrow F - \mu \cdot N = m \cdot a$$

Como o deslocamento é horizontal, o módulo da força normal é igual ao peso, devido à inexistência de forças extras na vertical.

$$F - \mu \cdot P = m \cdot a \Rightarrow F - \mu \cdot m \cdot g = m \cdot a$$

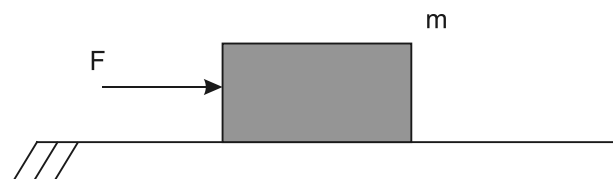
Isolando o coeficiente de atrito cinético e substituindo os valores fornecidos, ficamos com:

$$\mu = \frac{F - m \cdot a}{m \cdot g} \Rightarrow \mu = \frac{600 \text{ N} - 120 \text{ kg} \cdot 2 \text{ m/s}^2}{120 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2} \therefore \mu = 0,3$$

Gabarito: Letra C

**Exercício Resolvido** .....

(Unifor) Sobre um paralelepípedo de granito de massa 900 kg, apoiado sobre um terreno plano e horizontal, é aplicada uma força paralela ao plano de 2900 N. Os coeficientes de atrito dinâmico e estático entre o bloco de granito e o terreno são 0,25 e 0,35, respectivamente. Considere a aceleração da gravidade local igual a  $10 \text{ m/s}^2$ .



Estando inicialmente em repouso, a força de atrito que age no bloco é, em newtons:



- A) 2.250
- B) 2.900
- C) 3.150
- D) 7.550
- E) 9.000

**Resolução:**

Calculando a força de atrito estático máxima:

$$F_{\text{at máx}} = \mu_E N = \mu_E mg = 0,35 \cdot 900 \cdot 10 = F_{\text{at máx}} = 3.150 \text{ N.}$$

Como a força de atrito estático máxima tem maior intensidade que aplicada paralelamente ao plano, o bloco não entra em movimento. Assim, a força resultante sobre ele é nula.

Então:

$$F_{\text{at}} = F \Rightarrow F_{\text{at}} = 2.900 \text{ N.}$$

Gabarito: Letra B

**Força de Resistência do Ar**

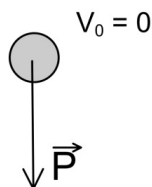
A força de resistência do ar surge devido ao "impacto" do corpo com as moléculas do ar, ao longo do seu movimento. Essa força é proporcional à velocidade do corpo, pois quanto mais rápido ele estiver, mais intensas serão as colisões do corpo com as moléculas do ar e, conseqüentemente, mais intensa será a força de resistência do ar. Por isso, ela pode ser escrita assim:

$$R_{\text{ar}} = b \cdot v$$

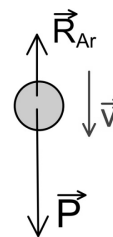
Sendo "b" uma constante de proporcionalidade, cujo valor depende de características do ar (como densidade, por exemplo) e da aerodinâmica do corpo. Em geral, o valor dessa constante será fornecido pelos exercícios.

Dessa forma, se um corpo for abandonado de uma altura considerável, ao longo da queda a resistência do ar passará de desprezível para valores consideráveis e, passará a interferir na queda do corpo.

Para entender essa situação, vamos considerar um corpo abandonado de uma altura consideravelmente grande. No começo da queda, ao partir da velocidade inicial nula, o corpo estará sujeito exclusivamente à força peso, estando, portanto, em queda livre. Assim, a sua aceleração inicial será a da gravidade  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

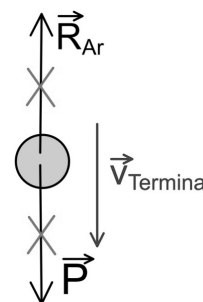


Depois de certo tempo de queda, já com uma certa velocidade, a resistência do ar já será considerável e, assim, diminui a força resultante no corpo.

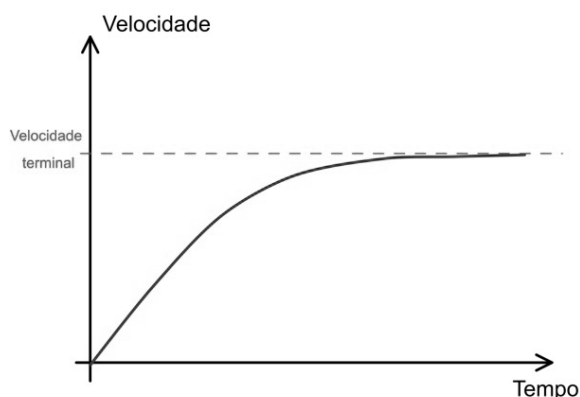


No começo da queda, a força resultante era a força peso, agora será a diferença entre a força peso e a força de resistência do ar. Como a força resultante será menor, a aceleração também será menor, ou seja, nesse momento ela possui um valor menor do que  $10 \text{ m/s}^2$ . Mesmo assim, a velocidade continuará aumentando, mas de quantidades cada vez menores.

Como a velocidade continua aumentando, a resistência do ar também aumenta e, em um determinado momento, ela terá o mesmo módulo da força peso. Quando isso acontecer, a força resultante no corpo passará a ser zero e, de acordo com a primeira lei de newton, a partir desse momento, o corpo passará a cair com velocidade constante. Ele manterá esse estado até o final da queda, quando tocar no chão. Essa velocidade é chamada de "velocidade terminal", pois será a mesma até o final da queda.



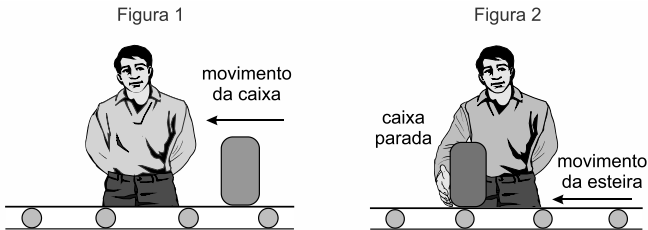
O gráfico abaixo mostra a evolução da velocidade do corpo em função do tempo:



EXERCÍCIOS PROPOSTOS

81

- (Unesp) Na linha de produção de uma fábrica, uma esteira rolante movimenta-se no sentido indicado na figura 1, e com velocidade constante, transportando caixas de um setor a outro. Para fazer uma inspeção, um funcionário detém uma das caixas, mantendo-a parada diante de si por alguns segundos, mas ainda apoiada na esteira que continua rolando, conforme a figura 2.

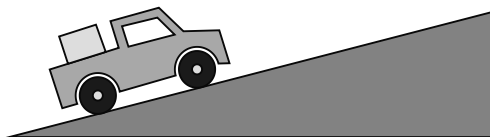


No intervalo de tempo em que a esteira continua rolando com velocidade constante e a caixa é mantida parada em relação ao funcionário (figura 2), a resultante das forças aplicadas pela esteira sobre a caixa está corretamente representada na alternativa

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

82

- (UFV) Uma caminhonete sobe uma rampa inclinada com velocidade constante, levando um caixote em sua carroceria, conforme ilustrado na figura a seguir.



Sabendo-se que  $P$  é o peso do caixote,  $N$  a força normal do piso da caminhonete sobre o caixote e  $f_a$  a força de atrito entre a superfície inferior do caixote e o piso da caminhonete, o diagrama de corpo livre que melhor representa as forças que atuam sobre o caixote é:

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

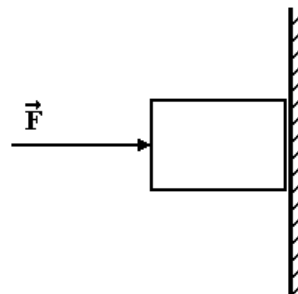
83

- (UFLA) Um trator utiliza uma força motriz de 2000 N e arrasta, com velocidade constante, um tronco de massa 200 Kg ao longo de um terreno horizontal e irregular. Considerando  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , é correto afirmar que o coeficiente de atrito cinético  $\mu_c$  entre o tronco e o terreno é:

- A) 1,0
- B) 0,5
- C) 0,25
- D) zero

84

- (UFMG) Nessa figura, está representado um bloco de 2,0 kg sendo pressionado contra a parede por uma força  $F$ . O coeficiente de atrito estático entre esses corpos vale 0,5, e o cinético vale 0,3. Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .



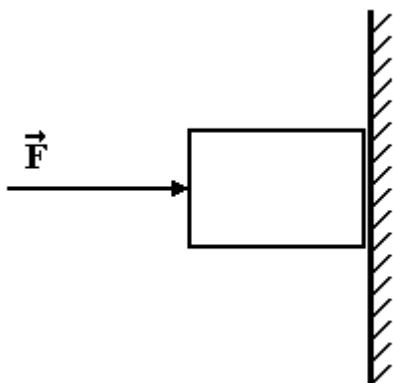
Se  $F = 50 \text{ N}$ , então a reação normal e a força de atrito que atuam sobre o bloco valem, respectivamente,

- A) 20 N e 6,0 N.
- B) 20 N e 10 N.
- C) 50 N e 20 N.
- D) 50 N e 25 N.
- E) 70 N e 35 N.



85

- (UFMG) Nessa figura, está representado um bloco de 2,0 kg sendo pressionado contra a parede por uma força  $F$ . O coeficiente de atrito estático entre esses corpos vale 0,5, e o cinético vale 0,3. Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

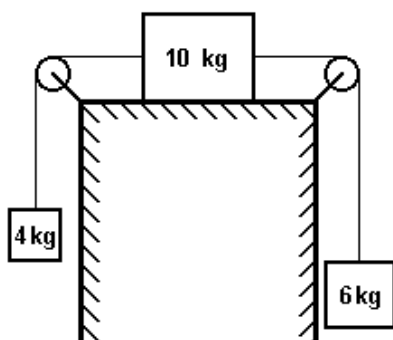


A força mínima  $F$  que pode ser aplicada ao bloco para que ele não deslize na parede é

- A) 10 N.
- B) 20 N.
- C) 30 N.
- D) 40 N.
- E) 50 N.

86

- (Fuvest) O sistema indicado na figura a seguir, onde as polias são ideais, permanece em repouso graças à força de atrito entre o corpo de 10 kg e a superfície de apoio.

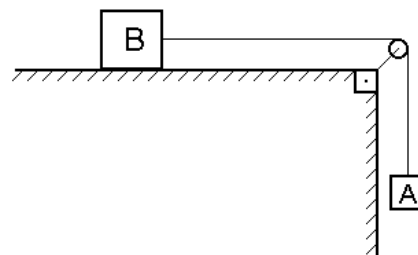


Podemos afirmar que o valor da força de atrito é:

- A) 20 N
- B) 10 N
- C) 100 N
- D) 60 N
- E) 40 N

87

- (UEL) No sistema representado a seguir, o corpo A, de massa 3,0 kg está em movimento uniforme. A massa do corpo B é de 10 kg. Adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

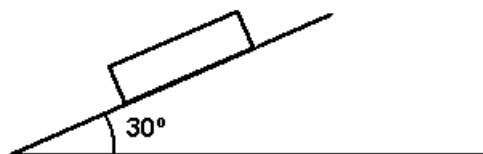


O coeficiente de atrito dinâmico entre o corpo B e o plano sobre o qual se apoia vale

- A) 0,15
- B) 0,30
- C) 0,50
- D) 0,60
- E) 0,70

88

- (UFRRJ) Um bloco se apoia sobre um plano inclinado, conforme representado no esquema:

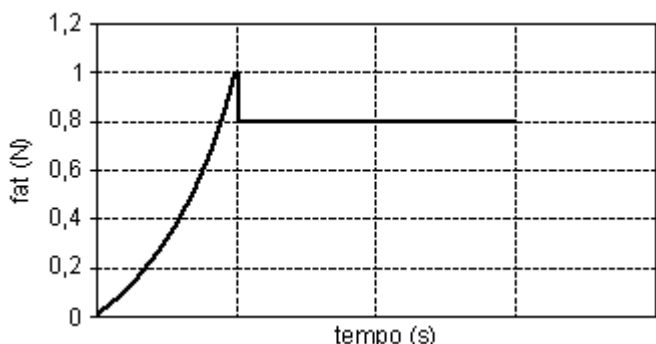


Se o bloco tem peso de 700 N, a menor força de atrito capaz de manter o bloco em equilíbrio sobre o plano é

- A) 350 N.
- B) 300 N.
- C) 250 N.
- D) 200 N.
- E) 150 N.

89

► (Udesc) O gráfico a seguir representa a força de atrito (fat) entre um cubo de borracha de 100 g e uma superfície horizontal de concreto, quando uma força externa é aplicada ao cubo de borracha.



Assinale a alternativa correta, em relação à situação descrita pelo gráfico.

- A) O coeficiente de atrito cinético é 0,8.
- B) Não há movimento relativo entre o cubo e a superfície antes que a força de atrito alcance o valor de 1,0 N.
- C) O coeficiente de atrito estático é 0,8.
- D) O coeficiente de atrito cinético é 1,0.
- E) Há movimento relativo entre o cubo e a superfície para qualquer valor da força de atrito.

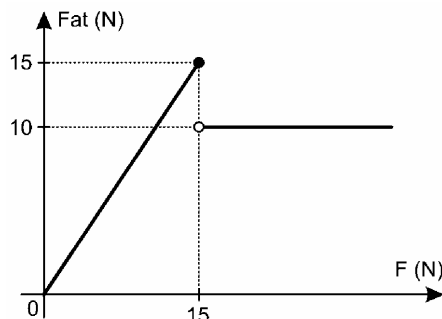
90

(Unicamp) O sistema de freios ABS (do alemão "Antiblockier-Bremssystem") impede o travamento das rodas do veículo, de forma que elas não deslizem no chão, o que leva a um menor desgaste do pneu. Não havendo deslizamento, a distância percorrida pelo veículo até a parada completa é reduzida, pois a força de atrito aplicada pelo chão nas rodas é estática, e seu valor máximo é sempre maior que a força de atrito cinético. O coeficiente de atrito estático entre os pneus e a pista é  $\mu_e = 0,80$  e o cinético vale  $\mu_c = 0,60$ . Sendo  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e a massa do carro  $m = 1200 \text{ kg}$ , o módulo da força de atrito estático máxima e a da força de atrito cinético são, respectivamente, iguais a

- A) 1200 N e 12000 N.
- B) 12000 N e 120 N.
- C) 20000 N e 15000 N.
- D) 9600 N e 7200 N.

91

(PUC-MG) Um bloco de borracha de massa 5,0 kg está em repouso sobre uma superfície plana e horizontal. O gráfico representa como varia a força de atrito sobre o bloco quando sobre ele atua uma força  $F$  de intensidade variável paralela à superfície.

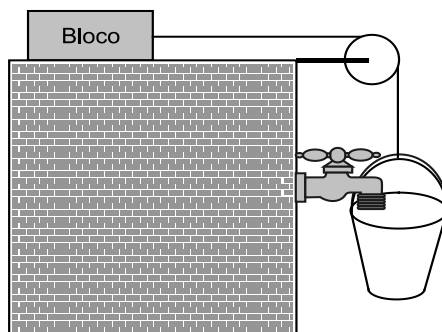


O coeficiente de atrito estático entre a borracha e a superfície, e a aceleração adquirida pelo bloco quando a intensidade da força  $F$  atinge 30 N são, respectivamente, iguais

- A) 0,3;  $4,0 \text{ m/s}^2$
- B) 0,2;  $6,0 \text{ m/s}^2$
- C) 0,3;  $6,0 \text{ m/s}^2$
- D) 0,5;  $4,0 \text{ m/s}^2$
- E) 0,2;  $3,0 \text{ m/s}^2$

92

► (Mackenzie) Um balde de 400 g é suspenso por um fio ideal que tem uma extremidade presa a um bloco de massa 12 kg. O conjunto está em repouso, quando se abre a torneira, que proporciona uma vazão de água ( $\rho = 1 \text{ kg/L}$ ), constante é igual a 0,2 L/s.



Sabendo-se que o coeficiente de atrito estático entre o bloco e a superfície horizontal que o suporta  $\mu_e = 0,4$  e que a polia é ideal, esse bloco iniciará seu deslocamento no instante imediatamente após

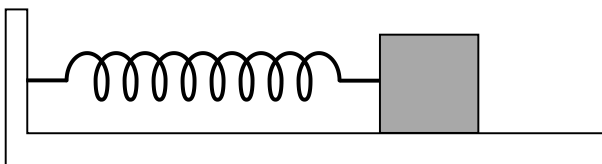
Dado:  $g = 10 \text{ m/s}^2$

- A) 22 s
- B) 20 s
- C) 18 s
- D) 16 s
- E) 14 s



93

(Mackenzie) Um corpo de peso 30 N repousa sobre uma superfície horizontal de coeficiente de atrito estático 0,4. Por meio de uma mola de massa desprezível, de comprimento natural 20 cm e constante elástica 20 N/m, prende-se esse corpo em uma parede como mostra a figura.

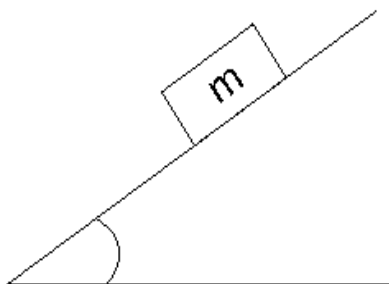


A máxima distância a que podemos manter esse corpo da parede e em equilíbrio será de

- A) 26 cm
- B) 40 cm
- C) 80 cm
- D) 90 cm
- E) 100 cm

94

(PUC-RJ) Um bloco de massa  $m$  é colocado sobre um plano inclinado cujo coeficiente de atrito estático  $\mu_e = 1$  como mostra a figura.

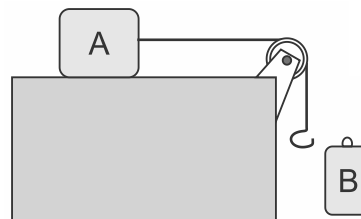


Qual é o maior valor possível para o ângulo  $\alpha$  de inclinação do plano de modo que o bloco permaneça em repouso?

- A)  $30^\circ$
- B)  $45^\circ$
- C)  $60^\circ$
- D)  $75^\circ$
- E)  $90^\circ$

95

► (PUC-PR) Um bloco A de massa 3,0 kg está apoiado sobre uma mesa plana horizontal e preso a uma corda ideal. A corda passa por uma polia ideal e na sua extremidade final existe um gancho de massa desprezível, conforme mostra o desenho. Uma pessoa pendura, suavemente, um bloco B de massa 1,0 kg no gancho. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre o bloco A e a mesa são, respectivamente,  $\mu_e = 0,5$  e  $\mu_c = 0,20$ .



Determine a força de atrito que a mesa exerce sobre o bloco A. Adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

- A) 15 N
- B) 6,0 N
- C) 30 N
- D) 10 N
- E) 12 N

96

(UFJF) Em relação às forças de atrito entre um bloco e uma superfície sobre a qual o mesmo repousa, assinale a afirmação correta:

- A) a força de atrito é diretamente proporcional à área da superfície de contato;
- B) o coeficiente de atrito estático não depende da natureza da superfície;
- C) a força de atrito máxima é diretamente proporcional ao módulo da força normal;
- D) a força de atrito máxima é inversamente proporcional ao módulo da força normal;
- E) uma vez que o bloco começa a deslizar, a força de atrito aumenta proporcionalmente à velocidade do bloco.

97

(FCCMMG) Um motorista de carro, ao percorrer as ruas de uma cidade, tenta aplicar seus conhecimentos de física que aprendeu na escola. Elabora, então, duas frases:

- I. Quando piso levemente no pedal do freio, a força de atrito entre as lonas de freio e a roda é menor que a força de atrito estático máxima entre eles.
- II. Se numa arrancada brusca o pneu "canta", isto é, desliza rapidamente sobre o asfalto, significa que a força de atrito entre o pneu e o solo foi maior que a força de atrito estático máxima entre eles.

Sobre as frases que elaborou, é correto afirmar que:

- A) apenas a frase I é verdadeira.
- B) apenas a frase II é verdadeira.
- C) as frases I e II são verdadeiras.
- D) as frases I e II são falsas.

98

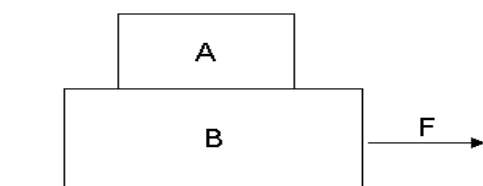
(Ufrgs) Arrasta-se uma caixa de 40 kg sobre um piso horizontal, puxando-a com uma corda que exerce sobre ela uma força constante, de 120 N, paralela ao piso. A resultante dos forças exercidas sobre a caixa é de 40 N. (Considere a aceleração da gravidade igual a  $10\text{m/s}^2$ .)

Qual é o valor do coeficiente de atrito cinético entre a caixa e o piso?

- A) 0,10.
- B) 0,20.
- C) 0,30.
- D) 0,50.
- E) 1,00.

99

▶ (PUC-RJ)

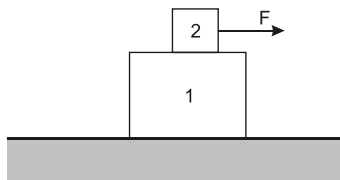


Dois blocos A e B cujas massas são  $m_A = 5,0\text{ kg}$  e  $m_B = 10,0\text{ kg}$  estão posicionados como mostra a figura anterior. Sabendo que a superfície de contato entre A e B possui o coeficiente de atrito estático  $\mu_e = 0,3$  e que B desliza sobre uma superfície sem atrito, determine a aceleração máxima que pode ser aplicada ao sistema, ao puxarmos uma corda amarrada ao bloco B com força F, sem que haja escorregamento do bloco A sobre o bloco B. Considere  $g = 10,0\text{ m/s}^2$ .

- A)  $7,0\text{ m/s}^2$
- B)  $6,0\text{ m/s}^2$
- C)  $5,0\text{ m/s}^2$
- D)  $4,0\text{ m/s}^2$
- E)  $3,0\text{ m/s}^2$

100

▶ (PUC-RJ) Sobre uma superfície sem atrito, há um bloco de massa  $m_1 = 4,0\text{ kg}$  sobre o qual está apoiado um bloco menor de massa  $m_2 = 1,0\text{ kg}$ . Uma corda puxa o bloco menor com uma força horizontal F de módulo 10 N, como mostrado na figura abaixo, e observa-se que nesta situação os dois blocos movem-se juntos.



A força de atrito existente entre as superfícies dos blocos vale em Newtons:

- A) 10
- B) 2,0
- C) 40
- D) 13
- E) 8,0

101

(UERJ) Considere um carro de tração dianteira que acelera no sentido indicado na figura.



O motor é capaz de impor às rodas de tração um determinado sentido de rotação. Só há movimento quando há atrito estático, pois, na sua ausência, as rodas de tração patinam sobre o solo, como acontece em um terreno enlameado.

O diagrama que representa corretamente as forças de atrito estático que o solo exerce sobre as rodas é:

- A)
- B)
- C)
- D)

102

(PUC-RJ) Quando um automóvel, com tração dianteira, aumenta a sua velocidade, os sentidos das forças aplicadas sobre o solo pelas rodas dianteiras e pelas rodas traseiras são, respectivamente,

- A) para trás e para a frente.
- B) para a frente e para trás.
- C) para a frente e para a frente.
- D) para trás e para trás.
- E) para trás e nula.

103

▶ (Ufrgs) À medida que cresce a velocidade de um objeto que cai em linha reta em direção ao solo, cresce também a força de atrito com o ar, até que, em determinado instante, torna-se nula a força resultante sobre esse objeto. A partir desse instante, o objeto.

- A) interrompe sua queda em direção ao solo.
- B) inverte o sentido da sua velocidade.
- C) continua caindo com velocidade crescente.
- D) continua caindo, mas a velocidade é decrescente.
- E) continua caindo, mas a velocidade é constante.



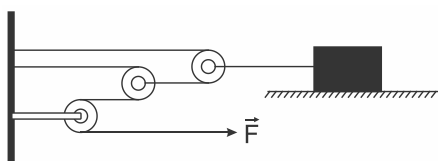


- 104 (PUC-MG) Uma gota de chuva de massa 0,050 g chega ao solo com uma velocidade constante. Considerando-se  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , a força de atrito da gota com o ar é, em newtons, de:
- A) 0,5  
B) 5,0  
C)  $5,0 \times 10^{-4}$   
D)  $5,0 \times 10^{-3}$

- 105 (PUC-RJ) Um para-quedista salta de um avião e cai em queda livre até sua velocidade de queda se tornar constante. Podemos afirmar que a força total atuando sobre o para-quedista após sua velocidade se tornar constante é:
- A) vertical e para baixo.  
B) vertical e para cima.  
C) nula.  
D) horizontal e para a direita.  
E) horizontal e para a esquerda.

- 106 (Enem) Em dias de chuva ocorrem muitos acidentes no trânsito, e uma das causas é a aquaplanagem, ou seja, a perda de contato do veículo com o solo pela existência de uma camada de água entre o pneu e o solo, deixando o veículo incontrolável.
- Nesta situação, a perda do controle do carro está relacionada com redução de qual força?
- A) Atrito.  
B) Tração.  
C) Normal.  
D) Centrípeta.  
E) Gravitacional.

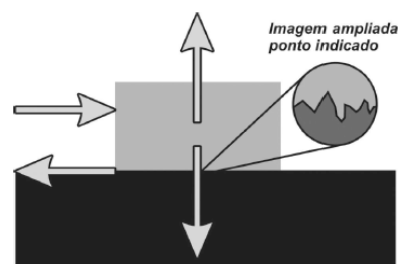
- 107 (Enem) Uma invenção que significou um grande avanço tecnológico na Antiguidade, a polia composta ou a associação de polias, é atribuída a Arquimedes (287 a.C. a 212 a.C.). O aparato consiste em associar uma série de polias móveis a uma polia fixa. A figura exemplifica um arranjo possível para esse aparato. É relatado que Arquimedes teria demonstrado para o rei Hierão um outro arranjo desse aparato, movendo sozinho, sobre a areia da praia, um navio repleto de passageiros e cargas, algo que seria impossível sem a participação de muitos homens. Suponha que a massa do navio era de 3.000 kg. que o coeficiente de atrito estático entre o navio e a areia era de 0,8 e que Arquimedes tenha puxado o navio com uma força  $F$ , paralela à direção do movimento e de módulo igual a 400 N.
- Considere os fios e as polias ideais, a aceleração da gravidade igual a  $10 \text{ m/s}^2$  e que a superfície da praia é perfeitamente horizontal.



Disponível em: [www.histedbr.fae.unicamp.br](http://www.histedbr.fae.unicamp.br). Acesso em: 28 fev. 2013 (adaptado).

O número mínimo de polias móveis usadas, nessa situação, por Arquimedes foi

- A) 3  
B) 6  
C) 7  
D) 8  
E) 10
- 108 (ENEM PPL) A força de atrito é uma força que depende do contato entre corpos. Pode ser definida como uma força de oposição à tendência de deslocamento dos corpos e é gerada devido a irregularidade entre duas superfícies em contato. Na figura, as setas representam forças que atuam no corpo e o ponto ampliado representa as irregularidades que existem entre as duas superfícies.



Na figura os vetores que representam as forças que provocam o deslocamento e o atrito são, respectivamente:

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

► (Enem PPL) Num sistema de freio convencional, as rodas do carro travam e os pneus derrapam no solo, caso a força exercida sobre o pedal seja muito intensa. O sistema ABS evita o travamento das rodas, mantendo a força de atrito no seu valor estático máximo, sem derrapagem. O coeficiente de atrito estático da borracha em contato com o concreto vale  $\mu_e = 1,0$  e o coeficiente de atrito cinético para o mesmo par de materiais é  $\mu_c = 0,75$ . Dois carros, com velocidades iniciais iguais a 108 km/h, iniciam a frenagem numa estrada perfeitamente horizontal de concreto no mesmo ponto. O carro 1 tem sistema ABS e utiliza a força de atrito estática máxima para a frenagem; já o carro 2 trava as rodas, de maneira que a força de atrito efetiva é a cinética. Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

As distâncias, medidas a partir do ponto em que iniciam a frenagem, que os carros 1 ( $d_1$ ) e 2 ( $d_2$ ) percorrem até parar são, respectivamente,

- A)  $d_1 = 45 \text{ m}$  e  $d_2 = 60 \text{ m}$ .
- B)  $d_1 = 60 \text{ m}$  e  $d_2 = 45 \text{ m}$ .
- C)  $d_1 = 90 \text{ m}$  e  $d_2 = 120 \text{ m}$ .
- D)  $d_1 = 580 \text{ m}$  e  $d_2 = 780 \text{ m}$ .
- E)  $d_1 = 780 \text{ m}$  e  $d_2 = 580 \text{ m}$ .

(Enem) Em um dia sem vento, ao saltar de um avião, um paraquedista cai verticalmente até atingir a velocidade limite. No instante em que o paraquedas é aberto (instante  $T_A$ ), ocorre a diminuição de sua velocidade de queda. Algum tempo após a abertura do paraquedas, ele passa a ter velocidade de queda constante, que possibilita sua aterrissagem em segurança.

Que gráfico representa a força resultante sobre o paraquedista, durante o seu movimento de queda?

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)



111

(Enem) Uma pessoa necessita da força de atrito em seus pés para se deslocar sobre uma superfície. Logo, uma pessoa que sobe uma rampa em linha reta será auxiliada pela força de atrito exercida pelo chão em seus pés.

Em relação ao movimento dessa pessoa, quais são a direção e o sentido da força de atrito mencionada no texto?

- A) Perpendicular ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- B) Paralelo ao plano e no sentido contrário ao movimento.
- C) Paralelo ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- D) Horizontal e no mesmo sentido do movimento.
- E) Vertical e sentido para cima.

112

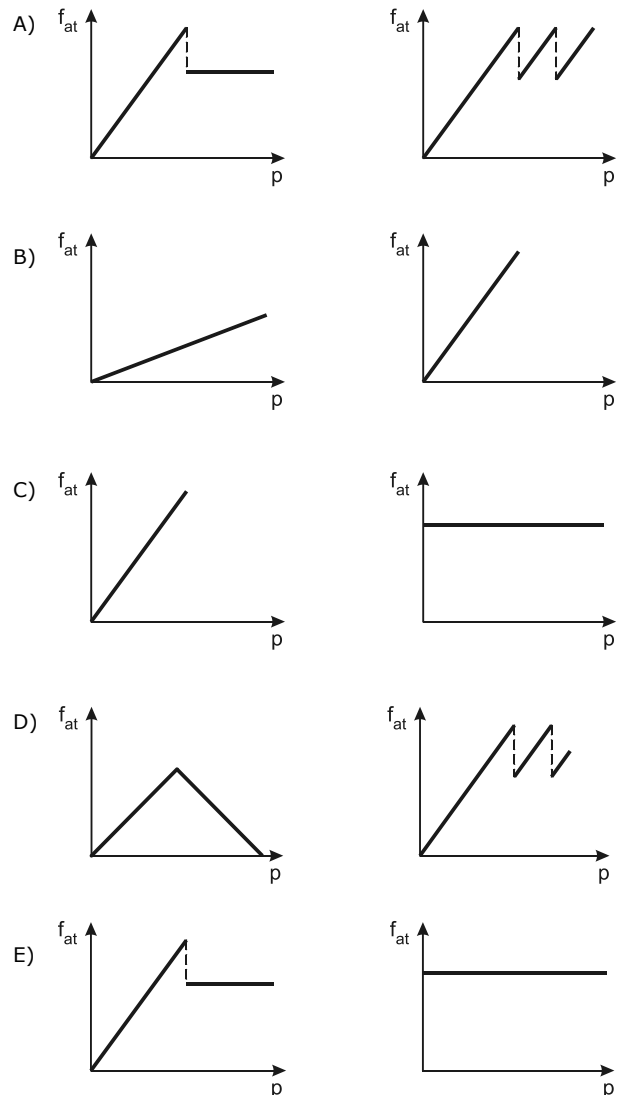
► (Enem PPL) O freio ABS é um sistema que evita que as rodas de um automóvel sejam bloqueadas durante uma frenagem forte e entrem em derrapagem. Testes demonstram que, a partir de uma dada velocidade, a distância de frenagem será menor se for evitado o bloqueio das rodas. O ganho na eficiência da frenagem na ausência de bloqueio das rodas resulta do fato de

- A) o coeficiente de atrito estático tornar-se igual ao dinâmico momentos antes da derrapagem.
- B) o coeficiente de atrito estático ser maior que o dinâmico, independentemente da superfície de contato entre os pneus e o pavimento.
- C) o coeficiente de atrito estático ser menor que o dinâmico, independentemente da superfície de contato entre os pneus e o pavimento.
- D) a superfície de contato entre os pneus e o pavimento ser maior com as rodas desbloqueadas, independentemente do coeficiente de atrito.
- E) a superfície de contato entre os pneus e o pavimento ser maior com as rodas desbloqueadas e o coeficiente de atrito estático ser maior que o dinâmico.

113

► (Enem) Os freios ABS são uma importante medida de segurança no trânsito, os quais funcionam para impedir o travamento das rodas do carro quando o sistema de freios é acionado, liberando as rodas quando estão no limiar do deslizamento. Quando as rodas travam, a força de frenagem é governada pelo atrito cinético.

As representações esquemáticas da força de atrito  $f_{at}$  entre os pneus e a pista, em função da pressão  $p$  aplicada no pedal de freio, para carros sem ABS e com ABS, respectivamente, são:



114

(Enem PPL) Um carrinho de brinquedo funciona por fricção. Ao ser forçado a girar suas rodas para trás, contra uma superfície rugosa, uma mola acumula energia potencial elástica. Ao soltar o brinquedo, ele se movimenta sozinho para frente e sem deslizar.

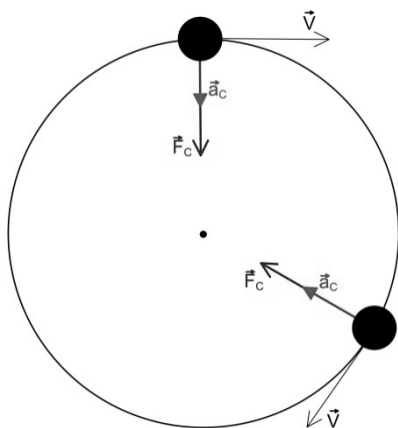
Quando o carrinho se movimenta sozinho, sem deslizar, a energia potencial elástica é convertida em energia cinética pela ação da força de atrito

- A) dinâmico na roda, devido ao eixo.
- B) estático na roda, devido à superfície rugosa.
- C) estático na superfície rugosa, devido à roda.
- D) dinâmico na superfície rugosa, devido à roda.
- E) dinâmico na roda, devido à superfície rugosa.

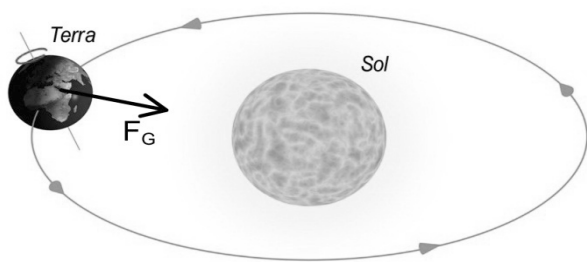
MÓDULO 04: DINÂMICA NO MCU

A definição de força que vimos anteriormente diz que somente a ação de uma força pode alterar a velocidade de um corpo. Essa afirmação é válida tanto para mudanças no módulo da velocidade do corpo quanto para mudanças na direção da velocidade de um corpo. Assim, um corpo só pode realizar uma curva, se houver a ação de uma força sobre ele.

Se quisermos que uma força altere apenas a direção da velocidade do corpo, ela deverá atuar perpendicular a essa velocidade, pois do contrário, o corpo aumentará ou diminuirá essa velocidade. Então, para que um corpo realize uma curva em velocidade constante, deve atuar sobre ele uma força apontando para o centro da curva, perpendicular à velocidade, denominada força centrípeta. Veja o esquema:



Em situações reais, será sempre uma força, dentre aquelas já conhecidas, que apontará para o centro da curva, permitindo que ela aconteça. Dizemos assim que a força está exercendo a função de força centrípeta. Veja alguns exemplos:



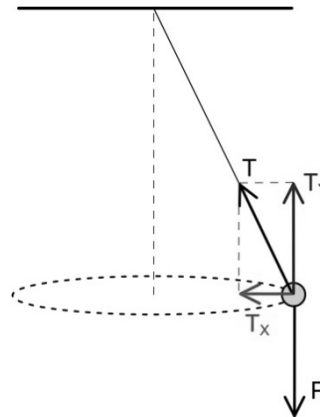
Na figura acima, temos a Terra girando em torno do Sol. Nesse caso, é a atração gravitacional que o Sol exerce na Terra ( $F_G$ ) que exerce a função de força centrípeta. É essa força que mantém a Terra em órbita em torno do Sol. Se, por acaso, essa força deixasse de existir subitamente, a Terra sairia imediatamente em uma direção tangente à sua trajetória e seguiria indefinidamente em MRU.

Quando uma pessoa gira uma pedra presa a um fio, é a tensão que atua como força centrípeta desse movimento. É a tensão que mantém o corpo girando.

Quando um carro faz uma curva, sem derrapar, é o atrito estático que o mantém nessa trajetória. Repare que se, por acaso, ele passar por uma poça de óleo, ele terá uma tendência de sair da curva em uma linha reta, tangente à curva. Então dizemos que a força centrípeta do movimento é o atrito estático.

Em alguns casos, temos apenas uma componente de uma

força atuando como força centrípeta. Um exemplo em que isso acontece é o chamado pêndulo cônico. Nesse tipo de pêndulo, o corpo gira em um plano horizontal. Veja a figura:



As únicas forças que atuam no pêndulo são: o seu peso e a tensão. No desenho acima, a tensão foi decomposta nos vetores  $T_y$  e  $T_x$ . Como não há movimento no plano vertical, as forças se anulam nessa direção, ou seja, a componente  $T_y$  anula a força peso. Com isso, a força  $T_x$  é a força resultante no corpo e aponta sempre para o centro da trajetória. Neste caso, a componente  $T_x$  é a força centrípeta do movimento desse corpo.

**Atenção!**

A força centrípeta é a resultante das forças e aponta para o centro da trajetória. A força centrípeta não é mais uma força no problema! Ela é a resultante!

Algumas pessoas apresentam dificuldades para entender a força centrípeta, justamente porque ela é representada por uma força diferente em cada situação. Para determinar qual é a força que atua como força centrípeta, você pode proceder da seguinte maneira:

1º) Desenhe todas as forças que atuam no corpo. Nesse momento, coloque apenas os vetores que normalmente já coloca, como peso, normal, atrito, tensão, etc. Quando estiver desenhando as forças que atuam no corpo jamais desenhe a força centrípeta.

2º) Faça uma linha imaginária que passa pelo corpo e pelo centro da trajetória, vamos chamar essa linha de eixo y. Desenhe também um eixo x, perpendicular ao eixo y.

3º) Encontre a força resultante, mas apenas entre as forças que estiverem no eixo y. Essa força será a força centrípeta!

Pensando na frase acima, podemos utilizar a 2ª lei de Newton para calcularmos a força centrípeta. A 2ª lei de Newton é:

$$F_r = ma$$

Como vimos, a força centrípeta é uma força resultante. No entanto, ela é a força resultante apenas entre aquelas forças que estão na direção do centro. Então, para calculá-la utilizaremos apenas a aceleração que está na direção do centro, ou seja, a aceleração centrípeta. Assim, a 2ª lei de Newton fica:

$$F_c = ma_c$$

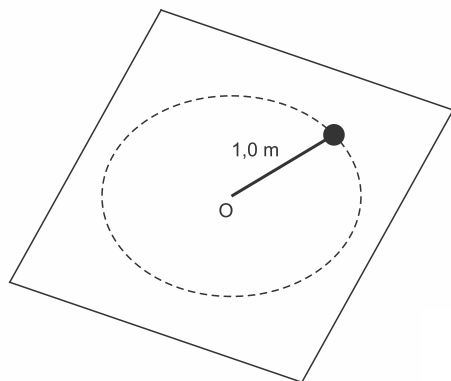
$$F_c = \frac{mv^2}{R}$$



Quando utilizamos a fórmula acima, devemos interpretar o resultado da seguinte maneira: essa é a força necessária para que um corpo de massa  $m$  faça uma curva de raio  $R$ , com uma velocidade  $v$ . Caso não exista no corpo, uma força apontando constantemente para o centro e cujo módulo seja o valor determinado pela fórmula, o corpo não será capaz de fazer essa curva.

**Exercício Resolvido** .....

(Mackenzie) Uma esfera de massa 2,0 kg que está presa na extremidade de uma corda de 1,0 m de comprimento, de massa desprezível, descreve um movimento circular uniforme sobre uma mesa horizontal, sem atrito.



A força de tração na corda é de 18 N, constante. A velocidade de escape ao romper a corda é

- F) 0,30 m/s
- G) 1,0 m/s
- H) 3,0 m/s
- I) 6,0 m/s
- J) 9,0 m/s

**Resolução:**

A força resultante sobre o sistema representa a força centrípeta que é a tração na corda.

$$F_c = T \Rightarrow \frac{mv^2}{R} = T$$

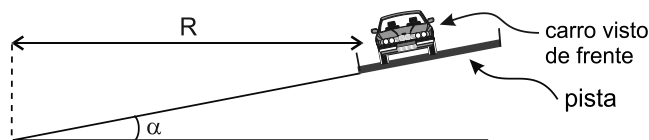
Assim, isolando a velocidade, temos:

$$v = \sqrt{\frac{TR}{m}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{18 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}}{2 \text{ kg}}} \therefore v = 3 \text{ m/s}$$

Gabarito: Letra C

**Exercício Resolvido** .....

(Fgv) Em um dia muito chuvoso, um automóvel, de massa  $m$ , trafega por um trecho horizontal e circular de raio  $R$ . Prevendo situações como essa, em que o atrito dos pneus com a pista praticamente desaparece, a pista é construída com uma sobre-elevação externa de um ângulo  $\alpha$ , como mostra a figura. A aceleração da gravidade no local é  $g$ .



A máxima velocidade que o automóvel, tido como ponto material, poderá desenvolver nesse trecho, considerando ausência total de atrito, sem derrapar, é dada por

- A)  $\sqrt{m \cdot g \cdot R \cdot \text{tg} \alpha}$
- B)  $\sqrt{m \cdot g \cdot R \cdot \cos \alpha}$
- C)  $\sqrt{g \cdot R \cdot \text{tg} \alpha}$
- D)  $\sqrt{g \cdot R \cdot \cos \alpha}$
- E)  $\sqrt{g \cdot R \cdot \text{sen} \alpha}$

**Resolução:**

A figura 1 mostra as forças (peso e normal) agindo nesse corpo. A resultante dessas forças é a centrípeta (figura 2).

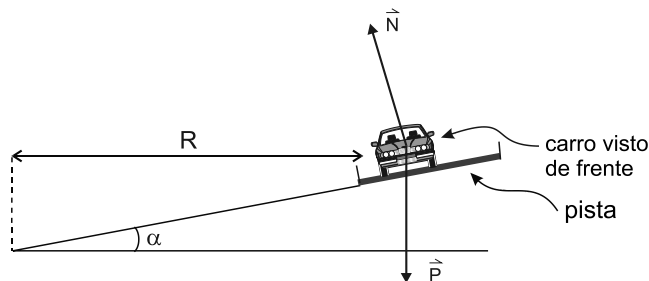


figura 1

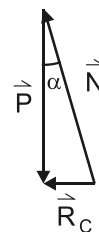


figura 2

Na figura 2, o triângulo é retângulo:

$$\text{tg} \alpha = \frac{R_c}{P} = \frac{m \frac{v^2}{R}}{m g} \Rightarrow \text{tg} \alpha = \frac{v^2}{R g} \Rightarrow v^2 = R g \text{tg} \alpha \Rightarrow v = \sqrt{R g \text{tg} \alpha}$$

Gabarito: Letra C

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

115

(CEFET-MG) Um livro de massa  $m$  está pendurado por um fio de comprimento  $L$ . Em seguida, segurando o fio com uma das mãos e movimentando-a, ele é colocado em movimento circular uniforme vertical, de forma que o livro descreve círculos sucessivos.

A tensão no fio no ponto mais baixo da trajetória

- A) é igual ao peso do livro.
- B) é igual à força centrípeta.
- C) é menor que o peso do livro.
- D) é maior que a força centrípeta.

116

(UFJF) Sobre uma partícula em movimento circular uniforme, são feitas as seguintes afirmações:

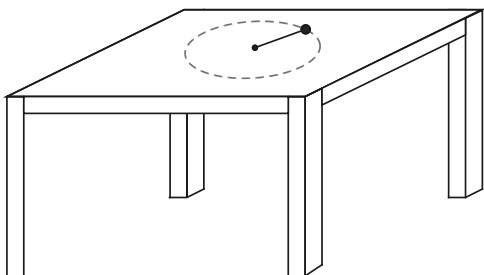
- I. Como o movimento é circular uniforme, a aceleração é nula;
- II. A aceleração é um vetor perpendicular ao vetor velocidade;
- III. O módulo da velocidade varia, já que a aceleração é diferente de zero.
- IV. A força resultante que atua na partícula é constante e aponta para o centro da trajetória circular.

Marque a alternativa correta:

- A) Somente II e III são verdadeiras;
- B) Somente I é verdadeira;
- C) Somente II é falsa;
- D) Somente III é falsa;
- E) Somente II e IV são verdadeiras.

117

- (PUC-RJ) Um bloco de massa  $0,50$  kg está preso a um fio ideal de  $40$  cm de comprimento cuja extremidade está fixa à mesa, sem atrito, conforme mostrado na figura.



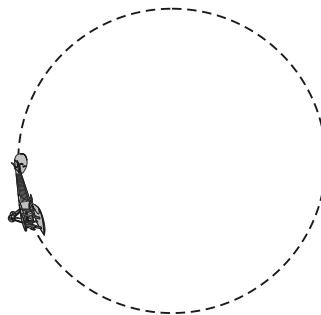
Esse bloco se encontra em movimento circular uniforme com velocidade de  $2,0$  m/s.

Sobre o movimento do bloco, é correto afirmar que:

- A) como não há atrito, a força normal da mesa sobre o bloco é nula.
- B) o bloco está sofrendo uma força resultante de módulo igual a  $5,0$  N.
- C) a aceleração tangencial do bloco é  $10$  m/s<sup>2</sup>.
- D) a aceleração total do bloco é nula pois sua velocidade é constante.
- E) ao cortar o fio, o bloco cessa imediatamente o seu movimento.

118

- (IBMEC-RJ) Um avião de acrobacias descreve a seguinte trajetória descrita na figura abaixo:

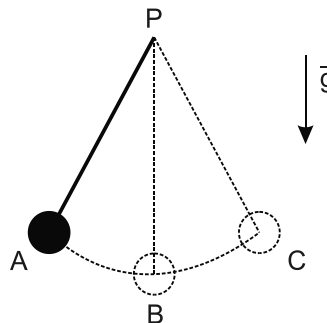


Ao passar pelo ponto mais baixo da trajetória a força exercida pelo banco da aeronave sobre o piloto que a comanda é:

- A) igual ao peso do piloto.
- B) maior que o peso do piloto.
- C) menor que o peso do piloto.
- D) nula.
- E) duas vezes maior do que o peso do piloto.

119

- (Fuvest) O pêndulo de um relógio é constituído por uma haste rígida com um disco de metal preso em uma de suas extremidades. O disco oscila entre as posições A e C, enquanto a outra extremidade da haste permanece imóvel no ponto P. A figura abaixo ilustra o sistema. A força resultante que atua no disco quando ele passa por B, com a haste na direção vertical, é



(Note e adote:  $g$  é a aceleração local da gravidade.)

- A) nula.
- B) vertical, com sentido para cima.
- C) vertical, com sentido para baixo.
- D) horizontal, com sentido para a direita.
- E) horizontal, com sentido para a esquerda.

120

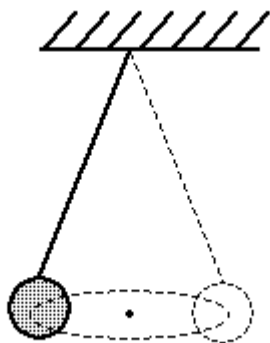
(PUC-MG) Um objeto percorre uma circunferência em movimento circular uniforme. A força resultante sobre esse objeto:

- A) é nula, porque não há aceleração.
- B) é dirigida para o centro.
- C) é tangente à velocidade do objeto.
- D) tem sentido contrário ao da velocidade.



121

(Ufrgs) A figura a seguir representa um pêndulo cônico ideal que consiste em uma pequena esfera suspensa a um ponto fixo por meio de um cordão de massa desprezível.

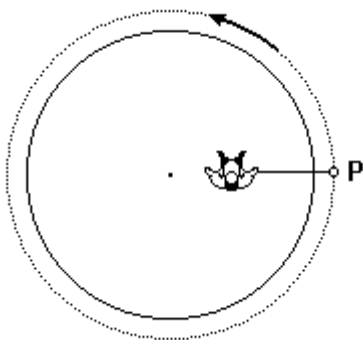


Para um observador inercial, o período de rotação da esfera, em sua órbita circular, é constante. Para o mesmo observador, a resultante das forças exercidas sobre a esfera aponta

- A) verticalmente para cima.
- B) verticalmente para baixo.
- C) tangencialmente no sentido do movimento.
- D) para o ponto fixo.
- E) para o centro da órbita.

122

(UFMG) Tomás está parado sobre a plataforma de um brinquedo, que gira com velocidade angular constante. Ele segura um barbante, que tem uma pedra presa na outra extremidade. A linha tracejada representa a trajetória da pedra, vista de cima, como mostrado na figura.



Observando essa situação, Júlia e Marina chegaram a estas conclusões:

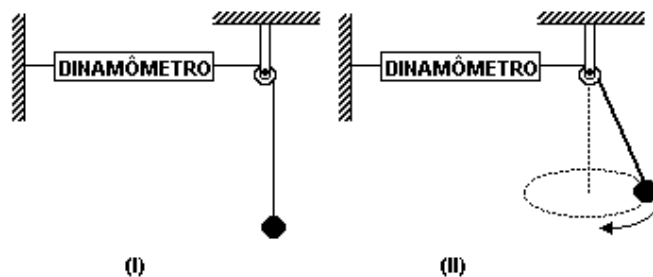
- Júlia: "O movimento de Tomás é acelerado".
- Marina: "A componente horizontal da força que o piso faz sobre Tomás aponta para o centro da plataforma".

Considerando-se essas duas conclusões, é correto afirmar que

- A) as duas estão erradas.
- B) apenas a de Júlia está certa.
- C) as duas estão certas.
- D) apenas a de Marina está certa.

123

(UFV) Um corpo de massa  $M$  (círculo preto), suspenso por um fio inextensível e de massa desprezível, está ligado a um dinamômetro através de uma roldana conforme ilustrado na figura (I) adiante.

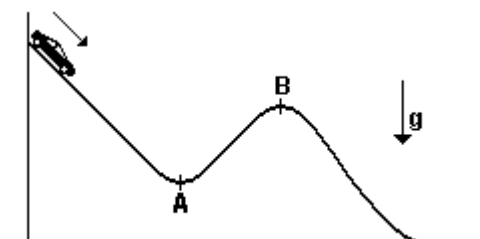


Se o corpo é posto a girar com uma frequência angular constante, conforme ilustrado na figura (II) acima, e desprezando qualquer tipo de atrito, é correto afirmar que, comparada com a situação (I), o valor da leitura do dinamômetro:

- A) será menor.
- B) não se altera.
- C) será maior.
- D) será nulo.
- E) oscilará na frequência de giro do corpo.

124

(Fuvest) Um carrinho é largado do alto de uma montanha russa, conforme a figura.



Ele se movimenta, sem atrito e sem soltar-se dos trilhos, até atingir o plano horizontal. Sabe-se que os raios de curvatura da pista em A e B são iguais. Considere as seguintes afirmações:

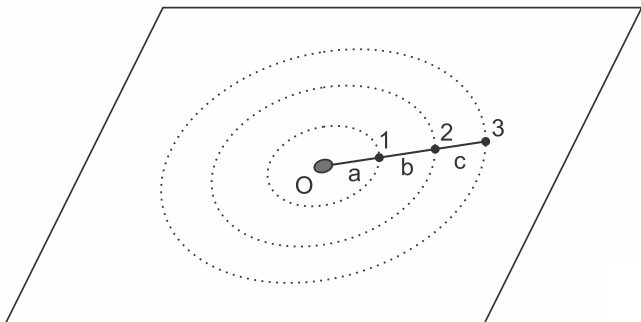
- I. No ponto A, a resultante das forças que agem sobre o carrinho é dirigida para baixo.
- II. A intensidade da força centrípeta que age sobre o carrinho é maior em A do que em B.
- III. No ponto B, o peso do carrinho é maior do que a intensidade da força normal que o trilho exerce sobre ele.

Está correto apenas o que se afirma

- A) I
- B) II
- C) III
- D) I e II
- E) II e III

125

► (PUC-MG) Na figura, 1, 2 e 3 são partículas de massa  $m$ . A partícula 1 está presa ao ponto O pelo fio a. As partículas 2 e 3 estão presas, respectivamente, à partícula 1 e à partícula 2, pelos fios b e c. Todos os fios são inextensíveis e de massa desprezível. Cada partícula realiza um movimento circular uniforme com centro em

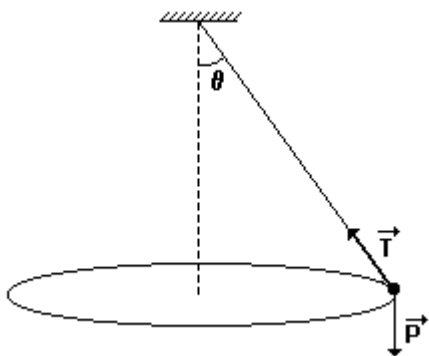


Sobre as reações em cada fio, é correto dizer que:

- A)  $T_A = T_B = T_C$
- B)  $T_A > T_B > T_C$
- C)  $T_A < T_B < T_C$
- D)  $T_A > T_B = T_C$
- E)  $T_A < T_B = T_C$

126

► (UFAL) Um fio, de comprimento  $L$ , prende um corpo, de peso  $P$  e dimensões desprezíveis, ao teto. Deslocado lateralmente, o corpo recebe um impulso horizontal e passa a descrever um movimento circular uniforme num plano horizontal, de acordo com a figura a seguir.

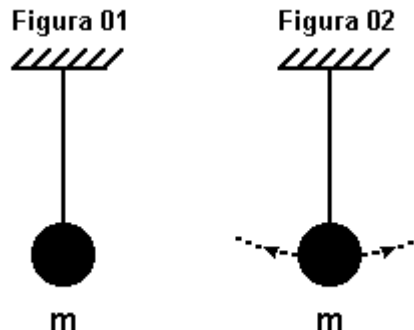


A força resultante centrípeta sobre o corpo tem intensidade

- A)  $T$
- B)  $P$
- C)  $T - P$
- D)  $T \cos\theta$
- E)  $T \sin\theta$

127

(UFES) A figura 01 a seguir representa uma esfera de massa  $m$ , em repouso, suspensa por um fio inextensível de massa desprezível. A figura 02 representa o mesmo conjunto oscilando como um pêndulo, no instante em que a esfera passa pelo ponto mais baixo de sua trajetória.

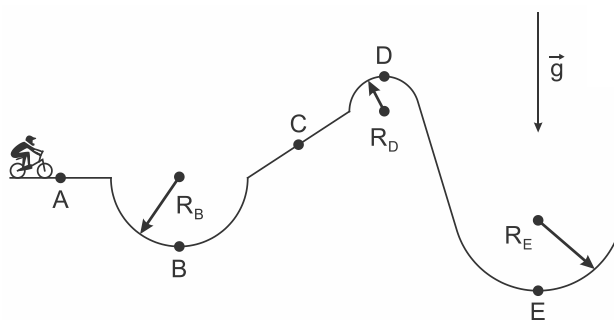


A respeito da tensão no fio e do peso da esfera respectivamente, no caso da Figura 01 ( $T_1$  e  $P_1$ ) e no caso da Figura 02 ( $T_2$  e  $P_2$ ), podemos dizer que

- A)  $T_1 = T_2$  e  $P_1 = P_2$
- B)  $T_1 > T_2$  e  $P_1 = P_2$
- C)  $T_1 = T_2$  e  $P_1 < P_2$
- D)  $T_1 < T_2$  e  $P_1 > P_2$
- E)  $T_1 < T_2$  e  $P_1 = P_2$

128

► (UPE) Suponha que, em uma prova olímpica de ciclismo BMX, presente nos Jogos Olímpicos desde a Olimpíada de Pequim 2008, um atleta percorre um trecho de pista de corrida cujo corte lateral é mostrado na figura a seguir.



A partir desse corte, percebe-se que o atleta viaja por segmentos de pista retos e por semicírculos onde  $R_D < R_B < R_E$ . Se o atleta pedala e utiliza os freios de forma a ter velocidade constante no trecho mostrado, o ponto de maior intensidade da reação normal da pista sobre a bicicleta é

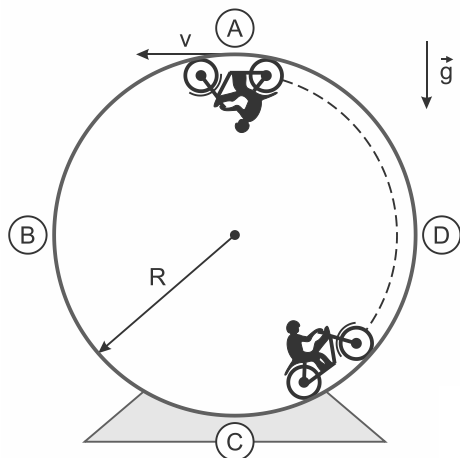
- A) A
- B) B
- C) C
- D) D
- E) E





129

- (IFCE) Considere a figura a seguir, na qual é mostrado um piloto acrobata fazendo sua moto girar por dentro de um "globo da morte".



Ao realizar o movimento de *loop* dentro do globo da morte (ou seja, percorrendo a trajetória ABCD mostrada acima), o piloto precisa manter uma velocidade mínima de sua moto para que a mesma não caia ao passar pelo ponto mais alto do globo (ponto A)

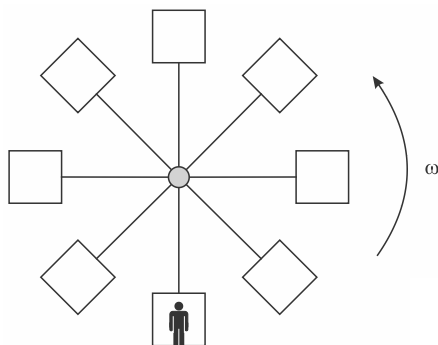
Nestas condições, a velocidade mínima  $V$  da moto, de forma que a mesma não caia ao passar pelo ponto A, dado que o globo da morte tem raio  $R$  de 3,60 m, é

(Considere a aceleração da gravidade com o valor  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

- A) 6 km/h
- B) 12 km/h
- C) 21,6 km/h
- D) 15 km/h
- E) 18 km/h

130

- (UPE) Em um filme de ficção científica, uma nave espacial possui um sistema de cabines girantes que permite ao astronauta dentro de uma cabine ter percepção de uma aceleração similar à gravidade terrestre. Uma representação esquemática desse sistema de gravidade artificial é mostrada na figura a seguir.

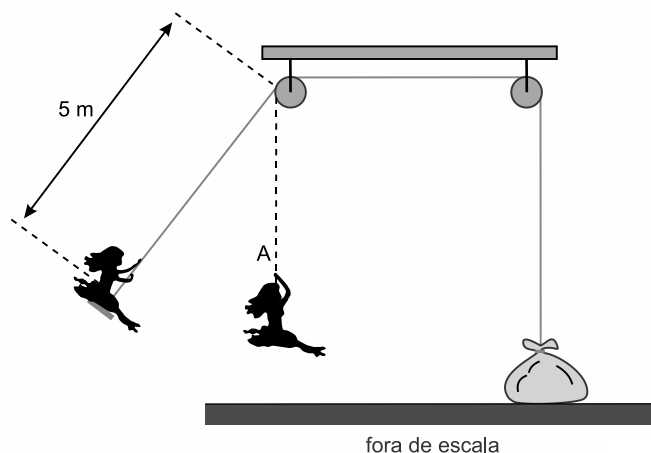


Se, no espaço vazio, o sistema de cabines gira com uma velocidade angular  $\omega$ , e o astronauta dentro de uma delas tem massa  $m$ , determine o valor da força normal exercida sobre o astronauta quando a distância do eixo de rotação vale  $R$ . Considere que  $R$  é muito maior que a altura do astronauta e que existe atrito entre o solo e seus pés.

- A)  $mR\omega^2$
- B)  $2mR\omega^2$
- C)  $mR\omega^2/2$
- D)  $mR\omega^2/R$
- E)  $8mR\omega^2$

131

- (Unesp) Uma garota de 50 kg está brincando em um balanço constituído de um assento e de uma corda ideal que tem uma de suas extremidades presa nesse assento e a outra, em um saco de areia de 66 kg que está apoiado, em repouso, sobre o piso horizontal. A corda passa por duas roldanas ideais fixas no teto e, enquanto oscila, a garota percorre uma trajetória circular contida em um plano vertical de modo que, ao passar pelo ponto A, a corda fica instantaneamente vertical.



Desprezando a resistência do ar e a massa do assento, considerando  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e as informações contidas na figura, a maior velocidade, em m/s, com a qual a garota pode passar pelo ponto A sem que o saco de areia perca contato com o solo é igual a

- A) 2
- B) 5
- C) 3
- D) 4
- E) 1

132

(PUC-RJ) Um pêndulo é formado por um fio ideal de 10 cm de comprimento e uma massa de 20 g presa em sua extremidade livre. O pêndulo chega ao ponto mais baixo de sua trajetória com uma velocidade escalar de 2,0 m/s.

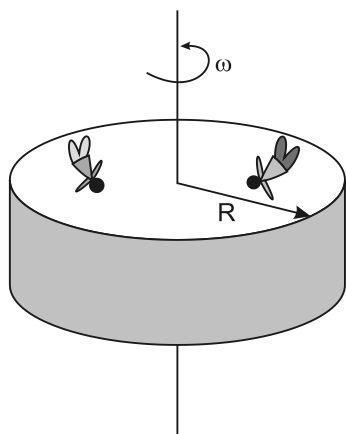
A tração no fio, em N, quando o pêndulo se encontra nesse ponto da trajetória é:

Considere:  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

- A) 0,2
- B) 0,5
- C) 0,6
- D) 0,8
- E) 1,0

133

(Fuvest) Uma estação espacial foi projetada com formato cilíndrico, de raio  $R$  igual a 100 m, como ilustra a figura abaixo.



Para simular o efeito gravitacional e permitir que as pessoas caminhem na parte interna da casca cilíndrica, a estação gira em torno de seu eixo, com velocidade angular constante  $\omega$ . As pessoas terão sensação de peso, como se estivessem na Terra, se a velocidade  $\omega$  for de, aproximadamente,

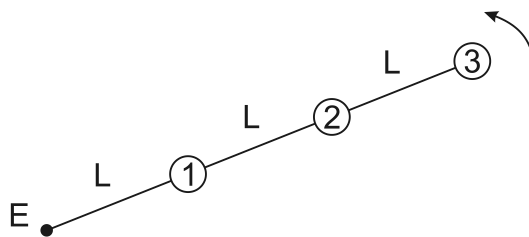
Note e adote:

A aceleração gravitacional na superfície da Terra é  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

- A) 0,1 rad/s
- B) 0,3 rad/s
- C) 1 rad/s
- D) 3 rad/s
- E) 10 rad/s

134

(UPE) Três partículas idênticas de massa 0,5 kg giram em um plano sem atrito, perpendicular ao eixo de rotação E, conectadas por barras de massas desprezíveis e comprimentos  $L = 1,0 \text{ m}$  cada uma. Observe a figura a seguir:

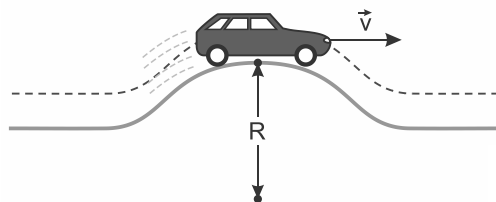


Sabendo-se que a tensão na barra que une as partículas 2 e 3 vale 13,5 N e que a velocidade angular de rotação do sistema é constante, determine o módulo da velocidade tangencial da partícula 1.

- A) 1 m/s
- B) 2 m/s
- C) 3 m/s
- D) 4 m/s
- E) 5 m/s

135

(UEMG) A figura representa o instante em que um carro de massa  $M$  passa por uma lombada existente em uma estrada.



Considerando o raio da lombada igual a  $R$ , o módulo da velocidade do carro igual a  $V$ , e a aceleração da gravidade local  $g$ , a força exercida pela pista sobre o carro, nesse ponto, pode ser calculada por

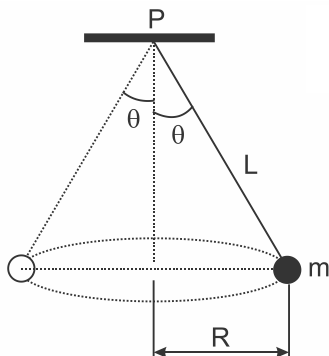
- A)  $\frac{MV^2}{R} + Mg$
- B)  $Mg - \frac{MV^2}{R}$
- C)  $Mg - \frac{MR^2}{V}$
- D)  $\frac{MR^2}{V} + mg$



136

- (Mackenzie) O pêndulo cônico da figura abaixo é constituído por um fio ideal de comprimento  $L$  e um corpo de massa  $m = 4 \text{ kg}$  preso em uma de suas extremidades e a outra é fixada no ponto  $P$ , descrevendo uma trajetória circular de raio  $R$  no plano horizontal. O fio forma um ângulo  $\theta$  em relação a vertical.

Considere:  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ;  $\text{sen}\theta = 0,6$ ;  $\text{cos}\theta = 0,8$ .

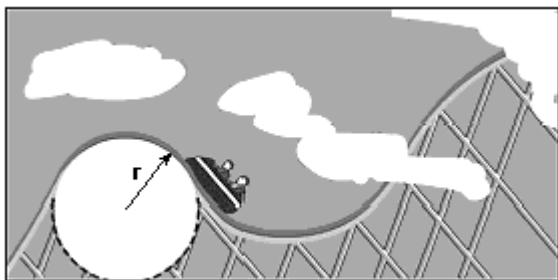


A força centrípeta que atua sobre o corpo é

- A) 10 N  
B) 20 N  
C) 30 N  
D) 40 N  
E) 50 N

137

- (PUC-SP) A figura representa em plano vertical um trecho dos trilhos de uma montanha russa na qual um carrinho está prestes a realizar uma curva. Despreze atritos, considere a massa total dos ocupantes e do carrinho igual a  $500 \text{ kg}$  e a máxima velocidade com que o carrinho consegue realizar a curva sem perder contato com os trilhos igual a  $36 \text{ km/h}$ .



O raio da curva, considerada circular, é, em metros, igual a

- A) 3,6  
B) 18  
C) 1,0  
D) 6,0  
E) 10

138

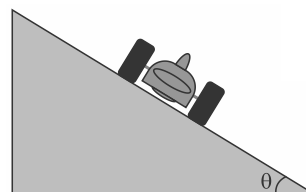
- (PUC-SP) Um automóvel percorre uma curva circular e horizontal de raio  $50 \text{ m}$  a  $54 \text{ km/h}$ . Adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . O mínimo coeficiente de atrito estático entre o asfalto e os pneus que permite a esse automóvel fazer a curva sem derrapar é

- A) 0,25  
B) 0,27  
C) 0,45  
D) 0,50  
E) 0,54

139

- (PUC-PR) Numa pista de corrida sobrelevada, deseja-se verificar a inclinação da pista numa curva de raio igual  $60\sqrt{3} \text{ m}$ , sem considerar o atrito, onde o carro possa desenvolver uma velocidade de  $72\sqrt{3} \text{ km/h}$ .

Na figura a seguir, estão representados o carro de corrida e a pista numa perspectiva frontal, em que  $\theta$  é a inclinação da pista. Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .



Qual a inclinação da pista de corrida para que a segurança do piloto não dependa do atrito entre a pista e os pneus do carro?

- A)  $40^\circ$   
B)  $30^\circ$   
C)  $25^\circ$   
D)  $35^\circ$   
E)  $45^\circ$

140

- (Enem) O Brasil pode se transformar no primeiro país das Américas a entrar no seleto grupo das nações que dispõem de trens-bala. O Ministério dos Transportes prevê o lançamento do edital de licitação internacional para a construção da ferrovia de alta velocidade Rio-São Paulo. A viagem ligará os 403 quilômetros entre a Central do Brasil, no Rio, e a Estação da Luz, no centro da capital paulista, em uma hora e 25 minutos.

Disponível em: <http://oglobo.globo.com>. Acesso em: 14 jul. 2009.

Devido à alta velocidade, um dos problemas a ser enfrentado na escolha do trajeto que será percorrido pelo trem é o dimensionamento das curvas. Considerando-se que uma aceleração lateral confortável para os passageiros e segura para o trem seja de  $0,1 g$ , em que  $g$  é a aceleração da gravidade (considerada igual a  $10 \text{ m/s}^2$ ), e que a velocidade do trem se mantenha constante em todo o percurso, seria correto prever que as curvas existentes no trajeto deveriam ter raio de curvatura mínimo de, aproximadamente,

- A) 80 m.  
B) 430 m.  
C) 800 m.  
D) 1.600 m.  
E) 6.400 m.

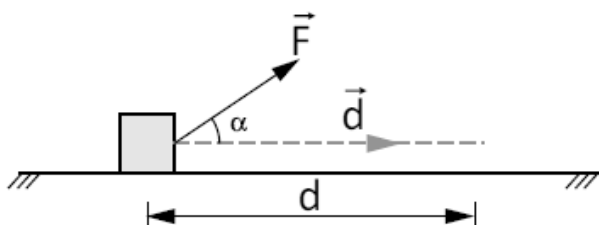
**MÓDULO 05: TRABALHO E ENERGIA**

Dentre os diversos tipos de energia que usamos cotidianamente, a energia mecânica é uma das mais importantes. Ela está muito presente em nossas vidas e o seu estudo nos permitirá entender melhor as suas aplicações.

**Trabalho de uma Força Constante**

Trabalho é uma forma de transferência de energia que ocorre a partir de uma força e um deslocamento. Quando uma pessoa empurra um bloco, a pessoa fornece energia cinética ao bloco. Essa transferência de energia ocorreu a partir da força feita pela pessoa naquele deslocamento. Falaremos então que a força feita pela pessoa realizou um trabalho, no sentido de que ela foi capaz de dar energia cinética ao bloco.

O trabalho não existirá se não houver deslocamento do corpo. Isso significa que a realização de trabalho deve acontecer através da ação de uma força (F), que atua durante certo deslocamento (d) do corpo.



Para calcular o trabalho de uma força constante podemos aplicar a seguinte expressão:

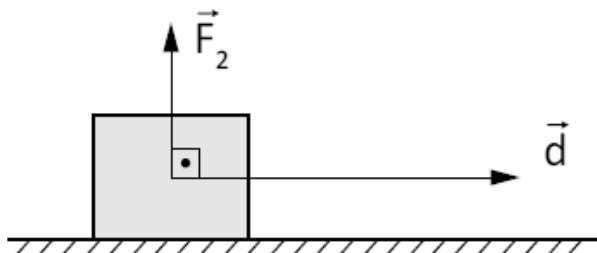
$$W = F \cdot d \cdot \cos \alpha$$

sendo que o ângulo  $\theta$  da fórmula representa o ângulo formado entre os vetores força e deslocamento. No sistema internacional de unidades o trabalho será dado em joules ( $J = N \cdot m$ ).

No cálculo do trabalho teremos uma regra de sinal:

- Quando a força for a favor do deslocamento, o trabalho será positivo.
- Quando a força for contrária ao deslocamento, o trabalho será negativo.
- Quando a força for perpendicular ao deslocamento, o trabalho será nulo.

Forças perpendiculares ao deslocamento não colaboram para dar ou retirar energia cinética do corpo. Logo, o trabalho de forças perpendiculares será nulo.



**Trabalho de uma Força Variável**

O cálculo do trabalho realizado por uma força de intensidade variável envolve a utilização de técnicas matemáticas estudadas em cursos superiores. Para simplificar, pode-se calcular tal trabalho através da área do diagrama  $F \times d$  (intensidade da componente tangencial de F em função dos valores do deslocamento):



O módulo do trabalho realizado pela força F é numericamente igual à área do diagrama  $F \times d$ .

**Trabalho Resultante ou Total**

O trabalho resultante se refere ao trabalho realizado pela força resultante que atua sobre o corpo. Entretanto, o trabalho resultante também pode ser calculado a partir do somatório dos trabalhos realizados por todas as forças que atuam no corpo.

**Energia**

Neste capítulo, inicia-se o estudo das energias relacionadas aos movimentos ou à capacidade para a sua produção. Além disso, as transformações entre algumas modalidades particulares de energia terão enfoque importante. A energia relaciona-se diretamente com o trabalho. Se um sistema físico possui energia, ele é capaz de realizar trabalho. São conhecidas diversas modalidades de energia, conforme a sua natureza: elétrica, térmica, química, luminosa, nuclear, mecânica etc, podendo ocorrer transformações mútuas entre elas.

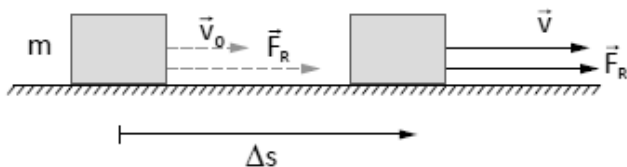
- Energia Cinética ( $E_c$ )

A energia cinética é a energia que um corpo possui sempre que apresenta movimento, ou seja, sempre que tem velocidade. Quanto maior a velocidade de um carro, maior a energia cinética associada ao seu movimento. Podemos calcular a energia cinética ( $E_c$ ) de um corpo de massa m e velocidade v por meio da expressão:

$$E_c = \frac{mv^2}{2}$$

**Teorema da Energia Cinética**

Consideremos um corpo de massa m, que se movimenta sobre uma superfície horizontal com velocidade  $V_0$ , e que num determinado instante fica sob a ação de uma força resultante  $F_R$ . Após um intervalo de tempo  $\Delta t$ , a velocidade do corpo passa a ser V e o seu deslocamento,  $\Delta s$ , conforme a figura.



É possível demonstrar que o trabalho da força resultante (trabalho total) é igual à variação da energia cinética que o corpo apresentou. Logo, o teorema da energia cinética é escrito da seguinte forma:

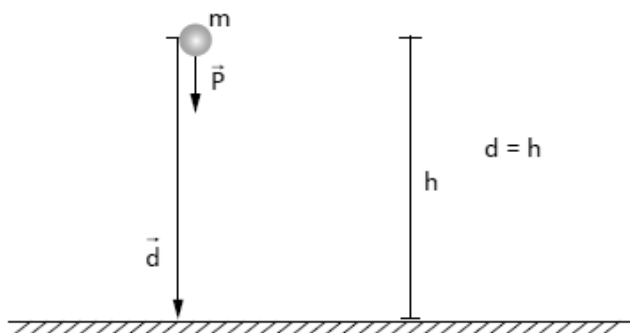
$$W_R = \Delta E_C$$

- Energia Potencial ( $E_p$ )

Chamamos de energia potencial a energia que um corpo possui armazenada e que, a qualquer momento, pode ser utilizada na realização de trabalho. Basicamente, a energia potencial pode ser armazenada de duas formas: utilizando-se o campo gravitacional da Terra ou por meio de deformações elásticas nos corpos. Na verdade, existe uma terceira possibilidade (que você já estudou na frente C) denominada energia potencial elétrica. Entretanto, não abordaremos ela aqui.

- Energia Potencial Gravitacional

A energia potencial tem relação direta com a posição do corpo com relação a um sistema de referência. Quando um corpo se encontra a uma altura em relação a um nível de referência no campo gravitacional da Terra, sua energia é denominada energia potencial gravitacional. Por exemplo, suponha um corpo de massa  $m$ , colocado em repouso a uma altura  $h$  acima do solo, no campo gravitacional da Terra ( $g$ ), conforme mostra a figura a seguir.



Nesse caso falaremos que o corpo possui uma energia potencial gravitacional dada por:

$$E_{pg} = mgh$$

- Energia Potencial Elástica

A energia potencial elástica está associada a molas deformadas. Quando uma mola é deformada (esticada ou comprimida) ela é capaz de armazenar energia. A energia armazenada em molas é chamada de energia potencial elástica. Podemos calcular essa energia a partir da seguinte expressão:

$$E_{pe} = \frac{kx^2}{2}$$

- Energia Mecânica ( $E_m$ )

Denomina-se energia mecânica total de um corpo a soma das energias cinética, potencial gravitacional e potencial elástica, isto é,

$$E_m = E_c + E_{pg} + E_{pe}$$

### Princípio da conservação da energia

Qualquer movimento ou atividade é realizada através da transformação de um tipo de energia em outro ou em outros, isto é, através da transformação energética (não há criação nem destruição de energia).

Vejam alguns exemplos:

- Para uma pessoa correr, nadar, levantar um peso, etc, sua energia é transformada em calor e movimento. Essa energia provém dos alimentos ingeridos e do ar que ela respira. Se o alimento ingerido for um vegetal verde, obtém-se essa energia através de um processo chamado fotossíntese. Quando uma pessoa ou um animal se alimenta desses vegetais, essa energia fica armazenada em suas células, permitindo a realização de atividades musculares.

- Nas usinas hidrelétricas, a energia potencial da água transforma-se em energia cinética e movimenta turbinas acopladas a geradores elétricos. Nas usinas termoeletricas, a energia necessária para aquecer a água provém de combustíveis derivados do petróleo ou carvão. Nas nucleares, utiliza-se como combustível o urânio. A finalidade dessas usinas é transformar essas energias (potencial gravitacional, potencial química ou potencial nuclear) em energia elétrica, que terá outras formas nas residências, hospitais e indústrias. Um liquidificador a transformará em energia cinética; uma lâmpada, e energia térmica e luminosa; um rádio, em energia sonora, etc.

- Para um carro avançar, ele tem que transformar em energia cinética parte da energia que provém do combustível.

- Nos automóveis, as baterias produzem energia elétrica através de reações químicas. Essa energia é transformada em movimento no motor de arranque, em luz nos faróis e em energia sonora na buzina.

Assim, podemos enunciar o princípio da conservação da energia:

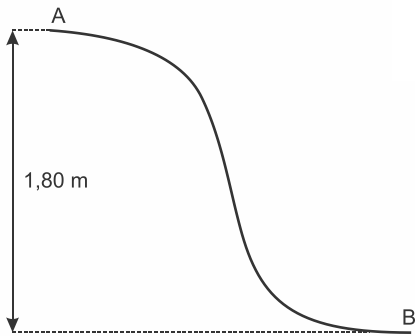
A energia não se cria nem se destrói, mas apenas se transforma de um tipo em outro, em quantidades iguais.

### Princípio da Conservação da Energia Mecânica

Na ausência de forças dissipativas, como atrito e resistência do ar, a energia mecânica de um corpo se conserva. Ou seja, o que ocorre é uma conversão de energia cinética em energias potenciais (e vice-versa).

**Exercício Resolvido** .....

(Mackenzie) Uma criança de massa 30 kg encontra-se em repouso no topo (A) de um escorregador de altura 1,8 m em relação ao seu ponto mais baixo (B).



Adotando-se o módulo da aceleração da gravidade  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e desprezando-se todos os atritos, a velocidade da criança no ponto mais baixo é

- A) 5,0 m/s
- B) 5,5 m/s
- C) 6,0 m/s
- D) 6,5 m/s
- E) 7,0 m/s

**Resolução:**

Usando a conservação da energia mecânica:

$$E_{MA} = E_{MB} \Rightarrow mgh_A = \frac{mv_B^2}{2} \Rightarrow v_B = \sqrt{2gh}$$

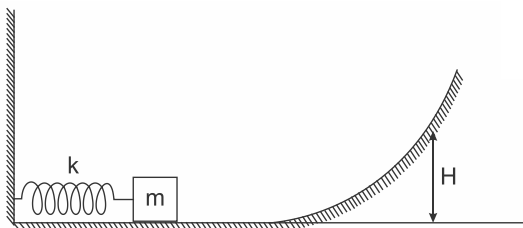
Substituindo os dados do problema:

$$v_B = \sqrt{2gh} \Rightarrow v_B = \sqrt{2 \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 1,8 \text{ m}} \therefore v_B = 6,00 \text{ m/s}$$

Gabarito: Letra C

**Exercício Resolvido** .....

(Uefs) A figura representa um sistema massa-mola ideal, cuja constante elástica é de 4 N/cm. Um corpo de massa igual a 1,2 kg é empurrado contra a mola, comprimindo-a de 12 cm.



Ao ser liberado, o corpo desliza ao longo da trajetória representada na figura. Desprezando-se as forças dissipativas em todo o percurso e considerando a aceleração da gravidade igual a  $10 \text{ m/s}^2$  é correto afirmar que a altura máxima H atingida pelo corpo, em cm, é igual a

- A) 24
- B) 26
- C) 28
- D) 30
- E) 32

**Resolução:**

Para o sistema conservativo, a energia potencial elástica da mola é convertida integralmente em energia potencial gravitacional.

$$E_{pe} = E_{pg}$$

$$\frac{k \cdot x^2}{2} = m \cdot g \cdot h \Rightarrow$$

Assim,

$$h = \frac{k \cdot x^2}{2 \cdot m \cdot g}$$

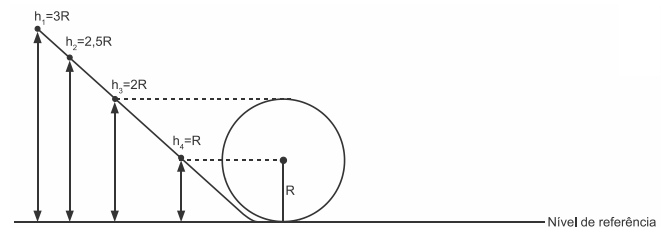
Substituindo os valores:

$$h = \frac{4 \text{ N/cm} \cdot (12 \text{ cm})^2}{2 \cdot 1,2 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2} \therefore h = 24 \text{ cm}$$

Gabarito: Letra A

**Exercício Resolvido** .....

(PUC-RS) Os grandes parques de diversões espalhados pelo mundo são destinos tradicionais de férias das famílias brasileiras. Considere um perfil de montanha-russa mostrado na imagem, na qual o *looping* possui um raio R.



Desprezando qualquer forma de dissipação de energia no sistema e supondo que a energia cinética medida para o carrinho seja apenas de translação, a altura mínima em relação ao nível de referência em que o carrinho pode partir do repouso e efetuar o *looping* com sucesso é

- A)  $h_1$
- B)  $h_2$
- C)  $h_3$
- D)  $h_4$

**Resolução:**

A velocidade mínima para descrever o *looping* ocorre quando a normal no ponto mais alto tende a zero, ou seja, a resultante centrípeta nesse ponto é o próprio peso do carrinho.

Então:

$$F_{cent} = P \Rightarrow \frac{mv^2}{R} = mg \Rightarrow v^2 = Rg$$

Aplicando a conservação da energia mecânica entre os pontos inicial e o ponto mais alto do *looping*:

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + mg2R \Rightarrow gh = \frac{Rg}{2} + 2Rg \Rightarrow h = \frac{R}{2} + 2R = \frac{5}{2}R \Rightarrow$$

$$h = 2,5R.$$

Gabarito: Letra B

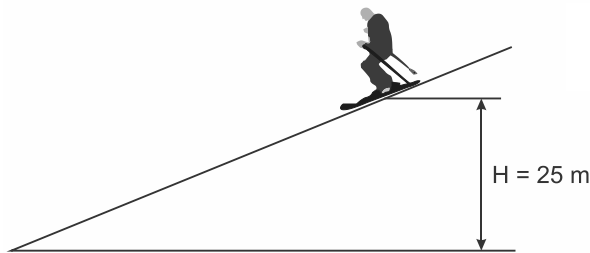


Quando existir forças dissipativas atuando no sistema, o sistema é chamado de não-conservativo. Nesses casos, como a força de atrito está realizando trabalho, a energia mecânica diminui. Como a energia só pode ser transformada, a energia mecânica se transforma em calor. Assim, podemos dizer que o trabalho da força de atrito corresponde à variação da energia mecânica do corpo.

$$W_{\text{fat}} = \Delta E_m$$

**Exercício Resolvido** .....

(Puccamp) Ao deslizar por uma pista localizada nos Andes, sem utilizar os bastões para impulsionar seu movimento, a energia cinética de um esquiador aumenta de  $1,4 \times 10^4$  J quando desce uma altura de 25 m.



Considerando que o peso do esquiador juntamente com o do equipamento seja 800 N, o trabalho realizado pelas forças de resistência nesse deslocamento é, em módulo, igual a

- A)  $5,6 \times 10^2$  J.
- B)  $3,4 \times 10^4$  J.
- C)  $2,0 \times 10^4$  J.
- D)  $6,0 \times 10^3$  J.
- E)  $3,5 \times 10^5$  J.

**Resolução:**

Pela conservação de energia podemos admitir que a energia potencial gravitacional no ponto mais alto da pista se transforma em energia cinética e energia dissipada pelo atrito.

Assim, equacionamos da seguinte maneira:

$$E_{\text{pg}} = E_c + E_d$$

Como a variação da energia significa o trabalho, calculando a energia dissipada pelo atrito, temos o trabalho de resistência do trajeto na pista, então:

$$mgh = E_c + E_d \Rightarrow 800 \cdot 25 = 1,4 \cdot 10^4 + E_d$$

$$800 \cdot 25 - 1,4 \cdot 10^4 = E_d \Rightarrow E_d = 20000 - 14000 \therefore E_d = 6000 \text{ J} = 6 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Gabarito: Letra D

**Potência Mecânica**

Como vimos, para calcular o trabalho realizado por um corpo, não precisamos nos preocupar com o tempo despendido para a realização do trabalho. No entanto, conhecer esse tempo pode nos dar uma ideia da rapidez com que o corpo está consumindo ou recebendo energia. Associamos a essa ideia a grandeza denominada potência. A potência é definida da seguinte maneira:

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

sendo que  $\Delta t$  representa o tempo despendido na realização do trabalho. A unidade de potência do sistema internacional de unidades é joule por segundo (J/s). Em homenagem ao cientista escocês James Watt, essa unidade recebeu o seu nome, ou seja, 1 J/s equivale a 1 Watt = 1W.

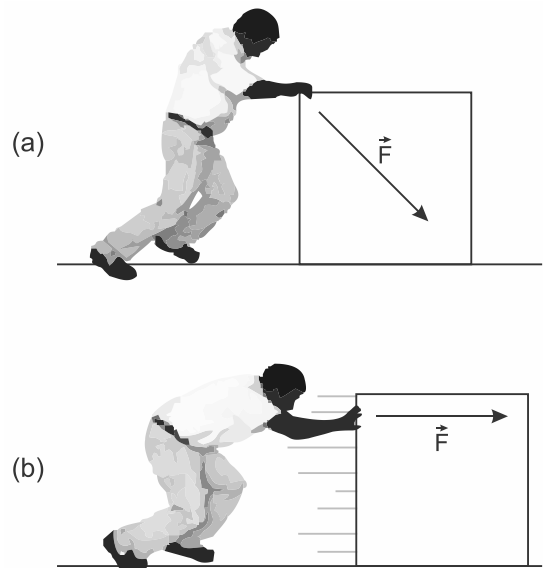
Perceba pela fórmula que a potência é inversamente proporcional ao tempo gasto na realização do trabalho, ou seja, quanto mais rápido realizarmos um trabalho, maior será a nossa potência.

Um carro muito potente consegue realizar muito trabalho em um tempo curto. Isso significa que ele produz muita energia cinética em um curto espaço de tempo. Em geral esses carros conseguem partir do repouso e atingir uma velocidade alta rapidamente. É muito comum os fabricantes indicarem a potência de seus automóveis através da unidade cavalo-vapor (cv). Cada cavalo-vapor equivale a 735 W.

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

141

► (UEMG) Uma pessoa arrasta uma caixa sobre uma superfície sem atrito de duas maneiras distintas, conforme mostram as figuras (a) e (b). Nas duas situações, o módulo da força exercida pela pessoa é igual e se mantém constante ao longo de um mesmo deslocamento.



Considerando a força  $F$ , é correto afirmar que

- A) o trabalho realizado em (a) é igual ao trabalho realizado em (b).
- B) o trabalho realizado em (a) é maior do que o trabalho realizado em (b).
- C) o trabalho realizado em (a) é menor do que o trabalho realizado em (b).
- D) não se pode comparar os trabalhos, porque não se conhece o valor da força.

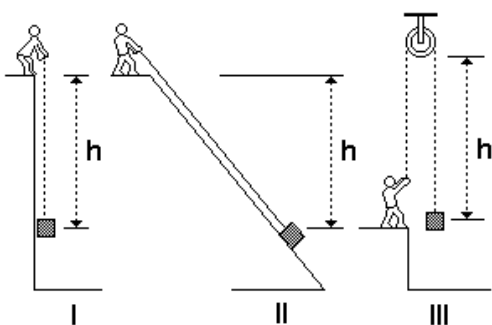
142

(UECE) Um livro de 500 g é posto para deslizar sobre uma mesa horizontal com atrito constante (coeficiente  $\mu = 0,10$ ). O trabalho realizado sobre o livro pela força normal à mesa é, em J,

- A) 50
- B) 0
- C) 500
- D) 0,5

143

► (UFMG) As figuras mostram uma pessoa erguendo um bloco até uma altura  $h$  em três situações distintas.



Na situação I, o bloco é erguido verticalmente; na II, é arrastado sobre um plano inclinado; e, na III, é elevado utilizando-se uma roldana fixa.

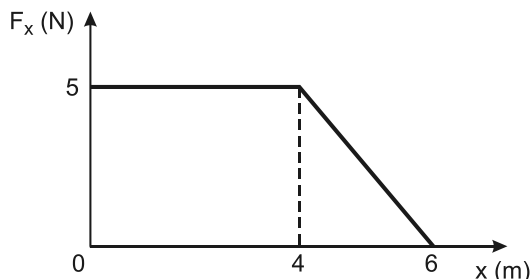
Considere que o bloco se move com velocidade constante e que são desprezíveis a massa da corda e qualquer tipo de atrito.

Comparando-se as três situações descritas, é correto afirmar que o trabalho realizado pela pessoa é

- A) maior em II.
- B) o mesmo em I, II e III.
- C) maior em I.
- D) menor em II.

144

► (Unesp) Uma força atuando em uma caixa varia com a distância  $x$  de acordo com o gráfico.



O trabalho realizado por essa força para mover a caixa da posição  $x = 0$  até a posição  $x = 6$  m vale

- A) 5 J.
- B) 15 J.
- C) 20 J.
- D) 25 J.
- E) 30 J.

145

(FCMMG) Numa academia de musculação, uma pessoa faz exercícios para manter sua forma física. Neste contexto, são feitas duas afirmações:

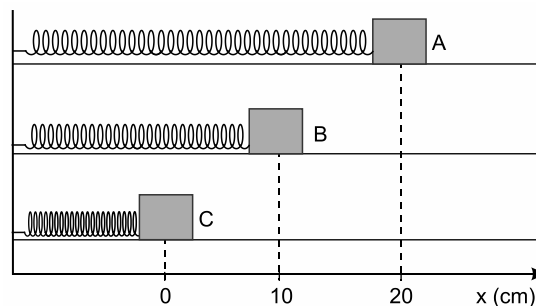
- I. O módulo do trabalho realizado pela pessoa, ao elevar um bloco de ferro, é igual ao trabalho realizado pelo peso do bloco, independente da maneira como a pessoa o eleva.
- II. A pessoa realiza trabalho sobre dois alteres, quando os eleva verticalmente com velocidade constante.

Sobre as afirmativas anteriores, é correto afirmar que:

- A) apenas a afirmativa I é verdadeira.
- B) apenas a afirmativa II é verdadeira.
- C) as afirmativas I e II são verdadeiras.
- D) as afirmativas I e II são falsas.

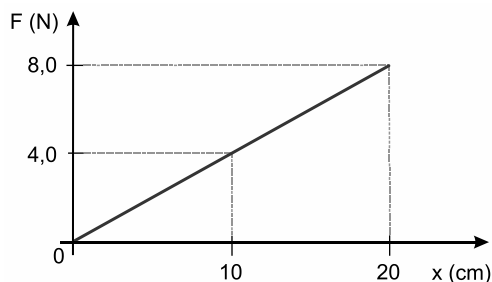
146

► (Famerp) A figura mostra o deslocamento horizontal de um bloco preso a uma mola, a partir da posição A e até atingir a posição C.



(www.mundoeducacao.bol.uol.br. Adaptado.)

O gráfico representa o módulo da força que a mola exerce sobre o bloco em função da posição deste.



O trabalho realizado pela força elástica aplicada pela mola sobre o bloco, quando este se desloca da posição A até a posição B, é

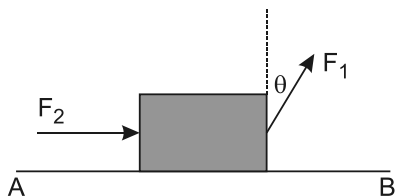
- A) 0,60 J
- B) - 0,60 J
- C) - 0,30 J
- D) 0,80 J
- E) 0,30 J



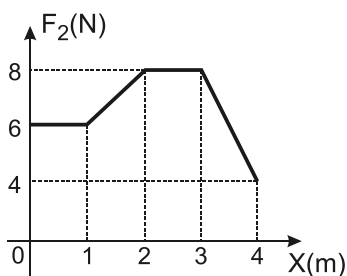


147

- (UPE) Um corpo de massa  $m$  desliza sobre o plano horizontal, sem atrito ao longo do eixo  $AB$ , sob ação das forças  $F_1$  e  $F_2$  de acordo com a figura a seguir. A força  $F_1$  é constante, tem módulo igual a  $10\text{ N}$  e forma com a vertical um ângulo  $\theta = 30^\circ$ .



A força  $F_2$  varia de acordo com o gráfico a seguir:



O trabalho realizado pelas forças para que o corpo sofra um deslocamento de  $0$  a  $4\text{ m}$ , em joules, vale

- A) 20  
B) 47  
C) 27  
D) 50  
E) 40

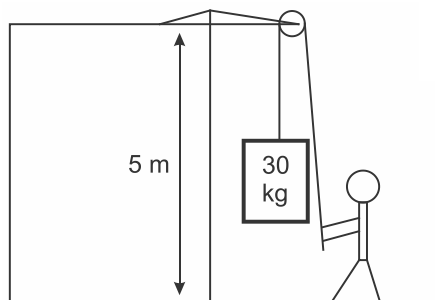
148

- (CEFET-MG) Um automóvel viaja a uma velocidade constante  $v = 90\text{ km/h}$ , em uma estrada plana e retilínea. Sabendo-se que a resultante das forças de resistência ao movimento do automóvel tem uma intensidade de  $3,0\text{ kN}$ , a potência desenvolvida pelo motor é de

- A)  $750\text{ W}$   
B)  $270\text{ kW}$   
C)  $75\text{ kW}$   
D)  $7,5\text{ kW}$

149

(Col. Naval) Em uma construção, um operário utiliza-se de uma roldana e gasta em média  $5$  segundos para erguer objetos do solo até uma laje, conforme mostra a figura abaixo.



Desprezando os atritos e considerando a gravidade local igual a  $10\text{ m/s}^2$ , pode-se afirmar que a potência média e a força feita pelos braços do operário na execução da tarefa foram, respectivamente, iguais a

- A)  $300\text{ W}$  e  $300\text{ N}$   
B)  $300\text{ W}$  e  $150\text{ N}$   
C)  $300\text{ W}$  e  $30\text{ N}$   
D)  $150\text{ W}$  e  $300\text{ N}$   
E)  $150\text{ W}$  e  $150\text{ N}$

150

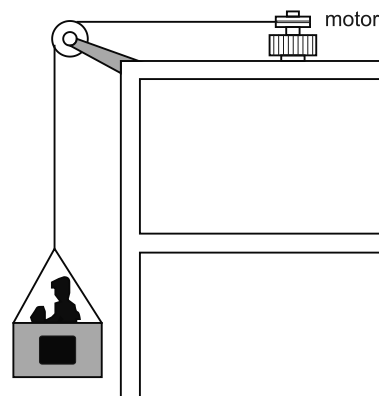
(PUC-RJ) Um elevador de  $500\text{ kg}$  deve subir uma carga de  $2,5$  toneladas a uma altura de  $20$  metros, em um tempo inferior a  $25$  segundos. Qual deve ser a potência média mínima do motor do elevador, em  $\text{kW}$ ?

Dado:  $g = 10\text{ m/s}^2$

- A) 20  
B) 16  
C) 24  
D) 38  
E) 15

151

- (IFSP) Para transportar os operários numa obra, a empresa construtora montou um elevador que consiste numa plataforma ligada por fios ideais a um motor instalado no telhado do edifício em construção. A figura mostra, fora de escala, um trabalhador sendo levado verticalmente para cima com velocidade constante, pelo equipamento. Quando necessário, adote  $g = 10\text{ m/s}^2$ .



Considerando que a massa total do trabalhador mais plataforma é igual a  $300\text{ kg}$  e sabendo que com esse elevador o trabalhador sobe um trecho de  $6\text{ m}$  em  $20\text{ s}$ , pode-se afirmar que, desconsiderando perdas de energia, a potência desenvolvida pelo motor do elevador, em watts, é igual a

- A) 2000.  
B) 1800.  
C) 1500.  
D) 900.  
E) 300.

152

(UECE) Um bloco desce uma rampa plana sob ação da gravidade e sem atrito. Durante a descida, a energia potencial gravitacional do bloco

- A) e a cinética aumentam.
- B) diminui e a cinética aumenta.
- C) e a cinética diminuem.
- D) aumenta e a cinética diminui.

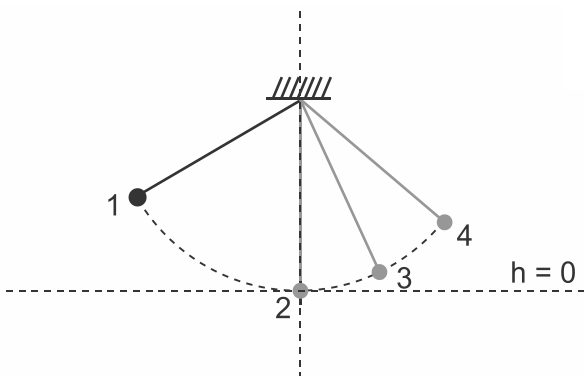
153

(Feevale) Uma montanha russa de um parque de diversões tem altura máxima de 80 m. Supondo que a aceleração da gravidade local seja  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , determine a velocidade máxima que o carrinho dessa montanha poderia atingir, considerando apenas os efeitos gravitacionais, em m/s.

- A) 20
- B) 30
- C) 40
- D) 50
- E) 10

154

(PUC-RS) Um pêndulo simples e de massa  $m$  oscila, a partir do repouso na posição 1, livre de qualquer tipo de força dissipativa. A figura abaixo representa algumas das posições ocupadas pela massa  $m$  durante um ciclo de seu movimento oscilatório, em um campo gravitacional constante e vertical para baixo.

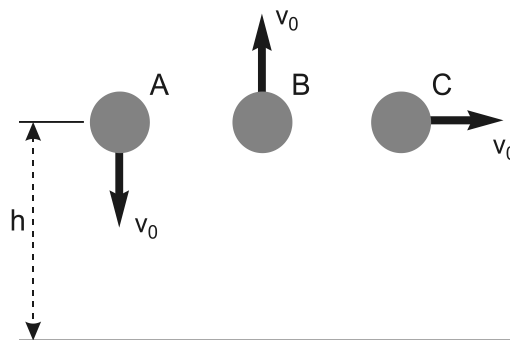


Sobre as energias cinética ( $E_c$ ) potencial gravitacional ( $E_p$ ) e mecânica ( $E_{MEC}$ ), medidas para a massa  $m$  em relação ao referencial  $h$ , é correto afirmar:

- A)  $E_{C2} = E_{P1}$
- B)  $E_{C2} < E_{C3}$
- C)  $E_{MEC1} > E_{MEC2}$
- D)  $E_{P3} > E_{P1}$
- E)  $E_{P2} > E_{P3}$

155

(CEFET-MG) Três esferas de mesma massa são lançadas de uma mesma altura e com velocidades iguais a  $v_0$  como mostrado a seguir.



Considerando-se o princípio da conservação da energia e desprezando-se a resistência do ar, as energias cinéticas das esferas, ao chegarem ao solo, obedecem à relação

- A)  $E_A > E_B = E_C$ .
- B)  $E_A = E_B = E_C$ .
- C)  $E_A > E_B > E_C$ .
- D)  $E_A < E_B > E_C$ .

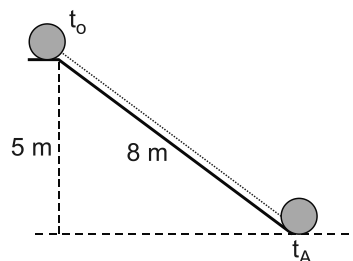
156

(Udesc) Deixa-se cair um objeto de massa 500 g de uma altura de 5 m acima do solo. Assinale a alternativa que representa a velocidade do objeto, imediatamente, antes de tocar o solo, desprezando-se a resistência do ar.

- A) 10 m/s
- B) 7,0 m/s
- C) 5,0 m/s
- D) 15 m/s
- E) 2,5 m/s

157

(IFBA) Um corpo é abandonado do alto de um plano inclinado, conforme a figura abaixo. Considerando as superfícies polidas ideais, a resistência do ar nula e  $10 \text{ m/s}^2$  como a aceleração da gravidade local, determine o valor aproximado da velocidade com que o corpo atinge o solo:

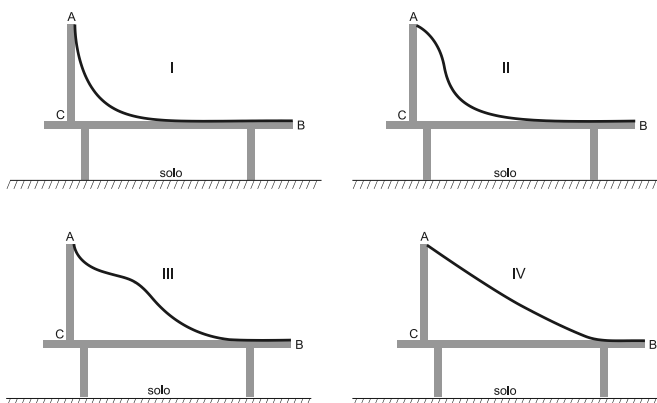


- A)  $v = 84 \text{ m/s}$
- B)  $v = 45 \text{ m/s}$
- C)  $v = 25 \text{ m/s}$
- D)  $v = 10 \text{ m/s}$
- E)  $v = 5 \text{ m/s}$



158

(UERJ) Os esquemas a seguir mostram quatro rampas AB, de mesma altura AC e perfis distintos, fixadas em mesas idênticas, nas quais uma pequena pedra é abandonada, do ponto A, a partir do repouso.



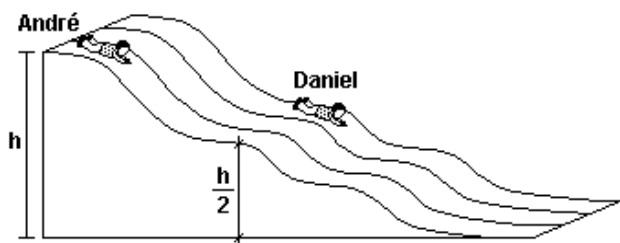
Após deslizar sem atrito pelas rampas I, II, III e IV, a pedra toca o solo, pela primeira vez, a uma distância do ponto B respectivamente igual a  $d_I$ ,  $d_{II}$ ,  $d_{III}$  e  $d_{IV}$ .

A relação entre essas distâncias está indicada na seguinte alternativa:

- A)  $d_I > d_{II} = d_{III} > d_{IV}$
- B)  $d_{III} > d_{II} > d_{IV} > d_I$
- C)  $d_{II} > d_{IV} = d_I > d_{III}$
- D)  $d_I = d_{II} = d_{III} = d_{IV}$

159

(UFMG) Daniel e André, seu irmão, estão parados em um tobogã, nas posições mostradas nesta figura:



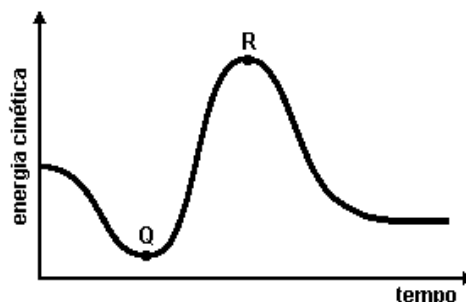
Daniel tem o dobro do peso de André e a altura em que ele está, em relação ao solo, corresponde à metade da altura em que está seu irmão. Em um certo instante, os dois começam a escorregar pelo tobogã. Despreze as forças de atrito.

É correto afirmar que, nessa situação, ao atingirem o nível do solo, André e Daniel terão

- A) energias cinéticas diferentes e módulos de velocidade diferentes.
- B) energias cinéticas iguais e módulos de velocidade iguais.
- C) energias cinéticas diferentes e módulos de velocidade iguais.
- D) energias cinéticas iguais e módulos de velocidade diferentes.

160

(UFMG) Rita está esquiando numa montanha dos Andes. A energia cinética dela em função do tempo, durante parte do trajeto, está representada neste gráfico:



Os pontos Q e R, indicados nesse gráfico, correspondem a dois instantes diferentes do movimento de Rita.

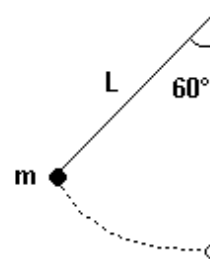
Despreze todas as formas de atrito.

Com base nessas informações, é correto afirmar que Rita atinge

- A) velocidade máxima em Q e altura mínima em R.
- B) velocidade máxima em R e altura máxima em Q.
- C) velocidade máxima em Q e altura máxima em R.
- D) velocidade máxima em R e altura mínima em Q.

161

(PUC-Camp) A massa  $m$  de um pêndulo simples, cujo fio tem comprimento  $L = 0,90$  m, é abandonada a partir do repouso quando o fio forma ângulo de  $60^\circ$  com a vertical, como mostra a figura.



Dados:

$$\sin 60^\circ = 0,87$$

$$\cos 60^\circ = 0,50$$

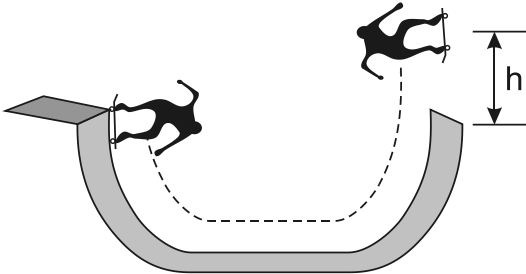
$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

Desprezando a resistência do ar, a velocidade de  $m$ , quando o fio fica na posição vertical, é, em m/s,

- A) 1,0
- B) 2,0
- C) 3,0
- D) 4,0
- E) 5,0

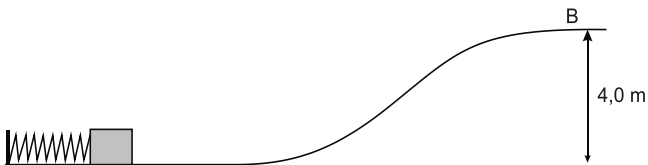
162

- (UFG) Uma das competições dos X-games são as manobras dos esquetistas em uma rampa em U. Um atleta parte do repouso do topo da rampa e através do movimento do seu corpo, de peso 800 N, consegue ganhar 600 J a cada ida e vinda na rampa, conforme ilustração a seguir.



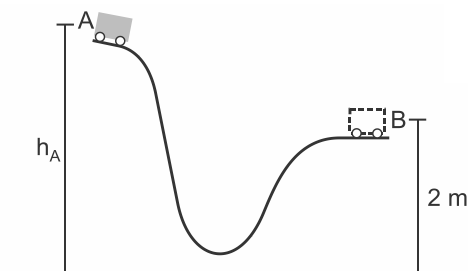
Desprezando as perdas de energia e o peso do skate, o número mínimo de idas e vindas que o atleta deve realizar para atingir uma altura ( $h$ ) de 3 m acima do topo da rampa é:

- A) 2  
 B) 3  
 C) 4  
 D) 6  
 E) 8
- 163
- (IFSC) A ilustração abaixo representa um bloco de 2 kg de massa, que é comprimido contra uma mola de constante elástica  $K = 200 \text{ N/m}$ .



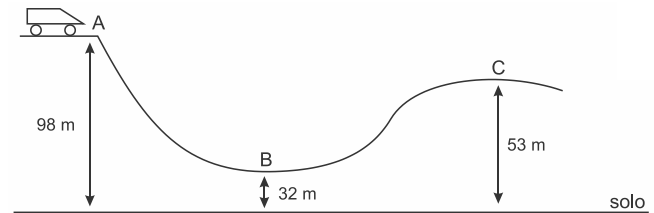
Desprezando qualquer tipo de atrito, é correto afirmar que, para que o bloco atinja o ponto B com uma velocidade de  $1,0 \text{ m/s}$ , é necessário comprimir a mola em:

- A) 0,90 cm.  
 B) 90,0 cm.  
 C) 0,81 m.  
 D) 81,0 cm.  
 E) 9,0 cm.
- 164
- (PUC-RS) Responda à questão com base na figura abaixo, que representa o trecho de uma montanha-russa pelo qual se movimentam um carrinho com massa de 400 kg. A aceleração gravitacional local é de  $10 \text{ m/s}^2$ .



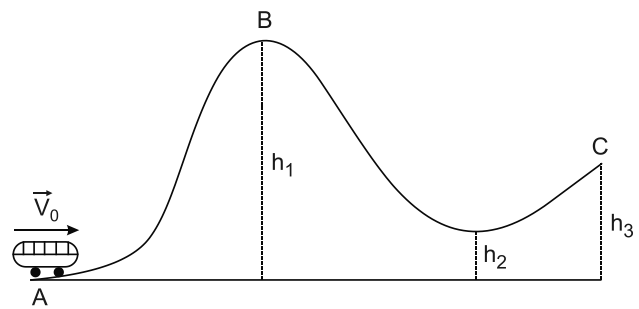
Partindo do repouso (ponto A), para que o carrinho passe pelo ponto B com velocidade de  $10 \text{ m/s}$ , desprezados todos os efeitos dissipativos durante o movimento, a altura  $h$ , em metros, deve ser igual a

- A) 5  
 B) 7  
 C) 9  
 D) 11  
 E) 13
- 165
- (Col. Naval) Um dos brinquedos mais populares de um parque de diversões é a montanha russa, cujo esboço de um trecho pode ser representado pela figura abaixo.



Desprezando-se todos os atritos, considerando que a gravidade local vale  $10 \text{ m/s}^2$  e que o carrinho parta do ponto A, a partir do repouso, pode-se afirmar que a sua velocidade no ponto C será de

- A) 90 km/h  
 B) 98 km/h  
 C) 108 km/h  
 D) 115 km/h  
 E) 120 km/h
- 166
- (CEFET-MG) Um carrinho é lançado sobre os trilhos de uma montanha russa, no ponto A, com uma velocidade inicial  $V_0$ , conforme mostra a figura. As alturas  $h_1$ ,  $h_2$  e  $h_3$  valem, respectivamente, 16,2 m, 3,4 m e 9,8 m.



Para o carrinho atingir o ponto C, desprezando o atrito, o menor valor de  $V_0$ , em  $\text{m/s}$ , deverá ser igual a

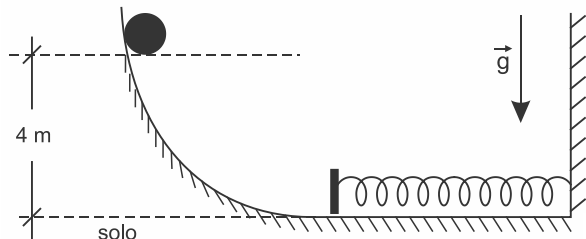
- A) 10.  
 B) 14.  
 C) 18.  
 D) 20.



167

► (Espcex) Uma esfera, sólida, homogênea e de massa 0,8 kg é abandonada de um ponto a 4 m de altura do solo em uma rampa curva.

Uma mola ideal de constante elástica  $k = 400 \text{ N/m}$  é colocada no fim dessa rampa, conforme desenho abaixo. A esfera colide com a mola e provoca uma compressão.



DESENHO ILUSTRATIVO FORA DE ESCALA

Desprezando as forças dissipativas, considerando a intensidade da aceleração da gravidade  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e que a esfera apenas desliza e não rola, a máxima deformação sofrida pela mola é de:

- A) 8 cm
- B) 16 cm
- C) 20 cm
- D) 32 cm
- E) 40 cm

168

► (FGV) Segundo o manual do proprietário de determinado modelo de uma motocicleta, de massa igual a 400 kg, a potência do motor é de 80 cv (1 cv = 750 W).



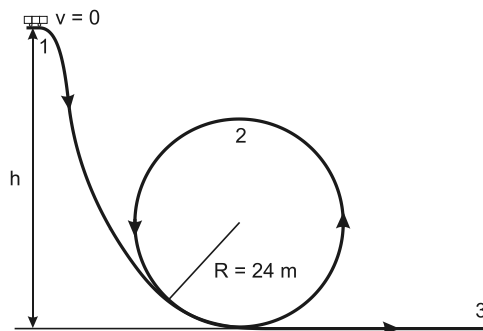
(<https://goo.gl/9aeMOK.com>)

Se ela for acelerada por um piloto de 100 kg, à plena potência, a partir do repouso e por uma pista retilínea e horizontal, a velocidade de 144 km/h será atingida em, aproximadamente,

- A) 4,9 s
- B) 5,8 s
- C) 6,1 s
- D) 6,7 s
- E) 7,3 s

169

► (UECE) Um carrinho de montanha russa tem velocidade igual a zero na posição 1, indicada na figura a seguir, e desliza no trilho, sem atrito, completando o círculo até a posição 3.



A menor altura  $h$ , em metros, para o carro iniciar o movimento sem que venha a sair do trilho na posição 2 é

- A) 36.
- B) 48.
- C) 60.
- D) 72.

170

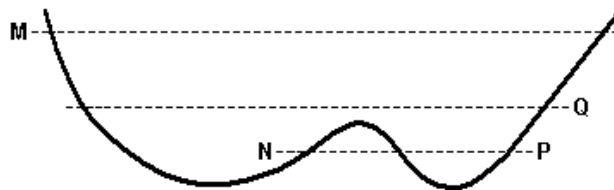
(PUC-RJ) Uma bola de borracha de massa 0,1 kg é abandonada de uma altura de 0,2 m do solo. Após quicar algumas vezes, a bola atinge o repouso. Calcule em joules a energia total dissipada pelos quiques da bola no solo.

Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

- A) 0,02
- B) 0,2
- C) 1,0
- D) 2,0
- E) 3,0

171

► (UFMG) Observe o perfil de uma montanha russa representado nesta figura:

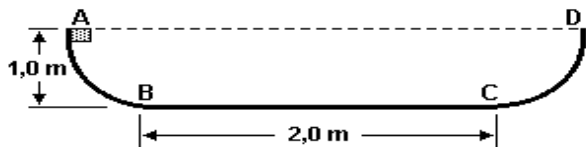


Um carrinho é solto do ponto M, passa pelos pontos N e P e só consegue chegar até o ponto Q. Suponha que a superfície dos trilhos apresenta as mesmas características em toda a sua extensão. Sejam  $E(cn)$  e  $E(cp)$  as energias cinéticas do carrinho, respectivamente, nos pontos N e P e  $E(tp)$  e  $E(tq)$  as energias mecânicas totais do carrinho, também respectivamente, nos pontos P e Q. Considerando-se essas informações, é correto afirmar que

- A)  $E(cn) = E(cp)$  e  $E(tp) = E(tq)$ .
- B)  $E(cn) = E(cp)$  e  $E(tp) > E(tq)$ .
- C)  $E(cn) > E(cp)$  e  $E(tp) = E(tq)$ .
- D)  $E(cn) > E(cp)$  e  $E(tp) > E(tq)$ .

172

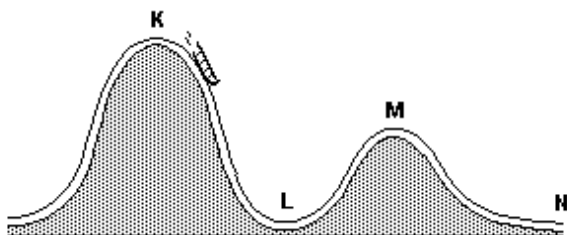
(UFU) Um menino e seu skate, considerados como uma única partícula, deslizam numa rampa construída para este esporte, como representado na figura a seguir. A parte plana da rampa mede 2,0 m, e a parte do repouso, do ponto A, cuja altura, em relação à base, é de 1,0 m. Considerando-se que há atrito somente na parte plana da rampa, e que o coeficiente de atrito cinético é 0,20, assinale a alternativa correta.



- A) O menino irá parar no centro da parte plana.
- B) Durante a primeira descida do menino ele atinge o ponto D.
- C) O menino irá parar no ponto C, no final da rampa plana.
- D) A energia dissipada até que ele pare é superior à energia potencial que o conjunto possui no ponto de partida.

173

(UFMG) Na figura, está representado o perfil de uma montanha coberta de neve.



Um trenó, solto no ponto K com velocidade nula, passa pelos pontos L e M e chega, com velocidade nula, ao ponto N. A altura da montanha no ponto M é menor que a altura em K. Os pontos L e N estão em uma mesma altura.

Com base nessas informações, é correto afirmar que

- A) a energia mecânica em K é igual à energia mecânica em M.
- B) a energia cinética em L é igual à energia potencial gravitacional em K.
- C) a energia potencial gravitacional em L é maior que a energia potencial gravitacional em N.
- D) a energia mecânica em M é menor que a energia mecânica em L.

174

(UFPB) Em uma partida de Curling, uma jogadora arremessa uma pedra circular de 18 kg (ver figura abaixo), que desliza sobre o gelo e para a 30 m da arremessadora.



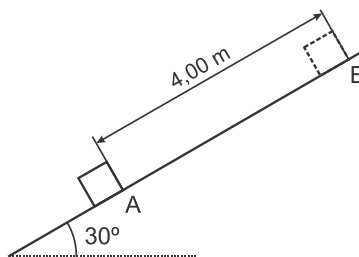
Disponível em: <www.seniorcurlingnews.com/img/curling.jpg> Acesso em: 02 ago. 2010.

Sabendo que o coeficiente de atrito cinético entre a pedra e o gelo é de 0,015, é correto afirmar que a pedra foi lançada com velocidade de:

- A) 2 m/s
- B) 3 m/s
- C) 4 m/s
- D) 5 m/s
- E) 6 m/s

175

(Mackenzie) Um bloco de massa 5,0 kg é lançado sobre um plano inclinado do ponto A, com velocidade inicial de 8,0 m/s, como indicado na figura.



Considerando a aceleração da gravidade  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , após percorrer 4,0 m, ele atinge o repouso no ponto B. A energia dissipada pela força de atrito é

- A) 80 J
- B) 60 J
- C) 90 J
- D) 40 J
- E) 30 J



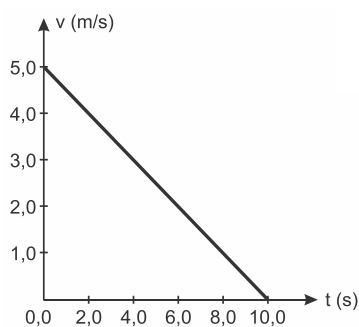
176

Um corpo de massa 2,0 kg é abandonado de uma altura de 50 cm, acima do solo. Ao chocar-se com o solo ocorre uma perda de 40% de sua energia. Adotando a aceleração da gravidade local igual a  $10 \text{ m/s}^2$ , a energia cinética do corpo logo após o choque parcialmente elástico com o solo é

- A) 2,0 J
- B) 4,0 J
- C) 6,0 J
- D) 8,0 J
- E) 10 J

177

Um corpo de massa 2,0 kg é lançado sobre um plano horizontal rugoso com uma velocidade inicial de  $5,0 \text{ m/s}$  e sua velocidade varia com o tempo, segundo o gráfico.



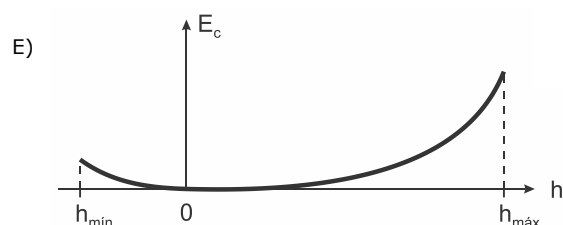
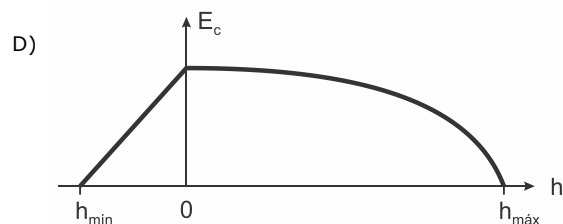
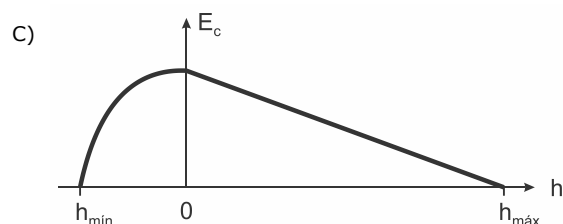
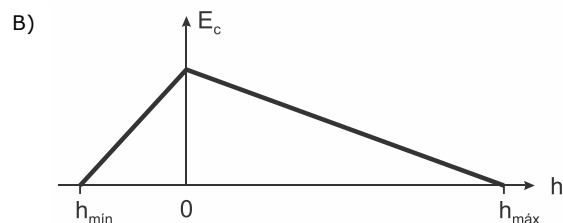
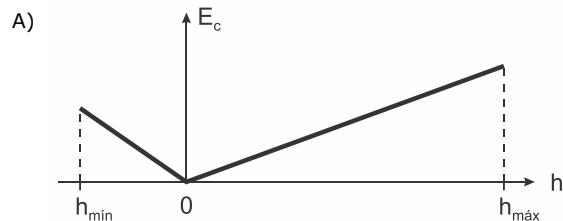
Considerando a aceleração da gravidade  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , o coeficiente de atrito cinético entre o corpo e o plano vale

- A) 0,05
- B) 0,50
- C) 0,10
- D) 0,20
- E) 0,02

178

O brinquedo pula-pula (cama elástica) é composto por uma lona circular flexível horizontal presa por molas à sua borda. As crianças brincam pulando sobre ela, alterando e alternando suas formas de energia. Ao pular verticalmente, desprezando o atrito com o ar e os movimentos de rotação do corpo enquanto salta, uma criança realiza um movimento periódico vertical em torno da posição de equilíbrio da lona ( $h = 0$ ) passando pelos pontos de máxima e de mínima altura,  $h_{\text{máx}}$  e  $h_{\text{mín}}$ , respectivamente.

Esquemáticamente, o esboço do gráfico da energia cinética da criança em função de sua posição vertical na situação descrita é:



179

Bolas de borracha, ao caírem no chão, quicam várias vezes antes que parte da sua energia mecânica seja dissipada. Ao projetar uma bola de futsal, essa dissipação deve ser observada para que a variação na altura máxima atingida após um número de quiques seja adequada às práticas do jogo. Nessa modalidade é importante que ocorra grande variação para um ou dois quiques. Uma bola de massa igual a  $0,40 \text{ kg}$  é solta verticalmente de uma altura inicial de  $1,0 \text{ m}$  e perde, a cada choque com o solo, 80% de sua energia mecânica. Considere desprezível a resistência do ar e adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

O valor da energia mecânica final, em joule, após a bola quicar duas vezes no solo, será igual a

- A) 0,16
- B) 0,80
- C) 1,60
- D) 2,56
- E) 3,20

180

- (Enem) Um garoto foi à loja comprar um estilingue e encontrou dois modelos: um com borracha mais "dura" e outro com borracha mais "mole". O garoto concluiu que o mais adequado seria o que proporcionasse maior alcance horizontal,  $D$ , para as mesmas condições de arremesso, quando submetidos à mesma força aplicada. Sabe-se que a constante elástica  $k_d$  (do estilingue mais "duro") é o dobro da constante elástica  $k_m$  (do estilingue mais "mole").

A razão entre os alcances  $D_d / D_m$  referentes aos estilingues com borrachas "dura" e "mole", respectivamente, é igual a

- A) 1/4  
B) 1/2  
C) 1  
D) 2  
E) 4

181

- (Enem) Uma análise criteriosa do desempenho de Usain Bolt na quebra do recorde mundial dos 100 metros rasos mostrou que, apesar de ser o último dos corredores a reagir ao tiro e iniciar a corrida, seus primeiros 30 metros foram os mais velozes já feitos em um recorde mundial, cruzando essa marca em 3,78 segundos. Até se colocar com o corpo reto, foram 13 passadas, mostrando sua potência durante a aceleração, o momento mais importante da corrida. Ao final desse percurso, Bolt havia atingido a velocidade máxima de 12 m/s.

Disponível em: <http://esporte.uol.com.br>. Acesso em: 5 ago. 2012  
(adaptado)

Supondo que a massa desse corredor seja igual a 90 kg, o trabalho total realizado nas 13 primeiras passadas é mais próximo de

- A)  $5,4 \times 10^2$  J  
B)  $6,5 \times 10^3$  J  
C)  $8,6 \times 10^3$  J  
D)  $1,3 \times 10^4$  J  
E)  $3,2 \times 10^4$  J

182

- (Enem PPL) Para irrigar sua plantação, um produtor rural construiu um reservatório a 20 metros de altura a partir da barragem de onde será bombeada a água. Para alimentar o motor elétrico das bombas, ele instalou um painel fotovoltaico. A potência do painel varia de acordo com a incidência solar, chegando a um valor de pico de 80 W ao meio-dia. Porém, entre as 11 horas e 30 minutos e as 12 horas e 30 minutos, disponibiliza uma potência média de 50 W. Considere a aceleração da gravidade igual a  $10 \text{ m/s}^2$  e uma eficiência de transferência energética de 100%.

Qual é o volume de água, em litros, bombeado para o reservatório no intervalo de tempo citado?

- A) 150  
B) 250  
C) 450  
D) 900  
E) 1.440

183

(Enem) Os carrinhos de brinquedo podem ser de vários tipos. Dentre eles, há os movidos a corda, em que uma mola em seu interior é comprimida quando a criança puxa o carrinho para trás. Ao ser solto, o carrinho entra em movimento enquanto a mola volta à sua forma inicial.

O processo de conversão de energia que ocorre no carrinho descrito também é verificado em

- A) um dínamo.  
B) um freio de automóvel.  
C) um motor a combustão.  
D) uma usina hidroelétrica.  
E) uma atiradeira (estilingue).

184

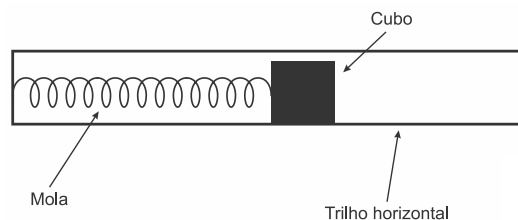
(Enem PPL) Um automóvel, em movimento uniforme, anda por uma estrada plana, quando começa a descer uma ladeira, na qual o motorista faz com que o carro se mantenha sempre com velocidade escalar constante.

Durante a descida, o que ocorre com as energias potencial, cinética e mecânica do carro?

- A) A energia mecânica mantém-se constante, já que a velocidade escalar não varia e, portanto, a energia cinética é constante.  
B) A energia cinética aumenta, pois a energia potencial gravitacional diminui e quando uma se reduz, a outra cresce.  
C) A energia potencial gravitacional mantém-se constante, já que há apenas forças conservativas agindo sobre o carro.  
D) A energia mecânica diminui, pois a energia cinética se mantém constante, mas a energia potencial gravitacional diminui.  
E) A energia cinética mantém-se constante, já que não há trabalho realizado sobre o carro.

185

- (Enem) Um projetista deseja construir um brinquedo que lance um pequeno cubo ao longo de um trilho horizontal, e o dispositivo precisa oferecer a opção de mudar a velocidade de lançamento. Para isso, ele utiliza uma mola e um trilho onde o atrito pode ser desprezado, conforme a figura.



Para que a velocidade de lançamento do cubo seja aumentada quatro vezes, o projetista deve

- A) manter a mesma mola e aumentar duas vezes a sua deformação.  
B) manter a mesma mola e aumentar quatro vezes a sua deformação.  
C) manter a mesma mola e aumentar dezesseis vezes a sua deformação.  
D) trocar a mola por outra de constante elástica duas vezes maior e manter a deformação.  
E) trocar a mola por outra de constante elástica quatro vezes maior e manter a deformação.



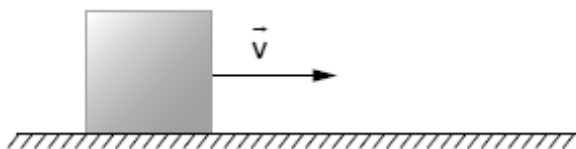


## MÓDULO 06: QUANTIDADE DE MOVIMENTO

Estudaremos nesse capítulo mais uma teoria sobre os movimentos dos corpos. Assim como as leis de Newton e a conservação da energia mecânica, utilizaremos a quantidade de movimento para resolvermos problemas de mecânica, especialmente aqueles que envolvem colisões.

### Quantidade de Movimento (momento linear)

Considere um corpo de massa  $m$  que se movimenta numa superfície horizontal com velocidade  $v$ , conforme a figura.



Esse corpo possui uma quantidade de movimento ( $Q$ ) dada pelo produto da massa ( $m$ ) pela velocidade ( $v$ ). Podemos calcular a quantidade de movimento da seguinte forma:

$$Q = mv$$

A quantidade de movimento é uma grandeza vetorial resultado do produto da massa e da velocidade. No sistema internacional de unidades é dada em  $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ . Por ser uma grandeza vetorial, quantidade de movimento possui módulo, direção e sentido. O módulo (valor) você já sabe calcular e a direção e o sentido serão sempre os mesmos do vetor velocidade.

### Sistemas Isolados

Na física, chamamos de sistema um conjunto de corpos selecionados do universo para estudo. Esses corpos podem trocar forças internas e externas. Uma força é classificada como interna quando ela é fruto da interação entre dois corpos do sistema, e externa quando ela é fruto da interação de um dos corpos do sistema com outro, que não seja do sistema.

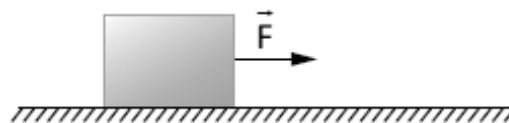
Considere um sistema de corpos composto por bolas de sinuca. Todas as bolas que estão sobre a mesa fazem parte do sistema. Em uma colisão entre elas, a força de interação será considerada uma força interna. Entretanto, se você der uma tacada, a força feita por você será considerada uma força externa, afinal de contas você não faz parte do sistema.

Observe que as forças internas constituem um par de ação e reação (mesma intensidade, mesma direção e sentidos contrários). Logo, a soma dessas forças no sistema é nula. A força resultante sobre um sistema é dada pela soma vetorial das forças externas.

Quando a soma das forças externas, ou seja, a resultante das forças no sistema for nula, dizemos que o sistema é mecanicamente isolado. Nesse caso, a quantidade de movimento do sistema (soma vetorial de todas as quantidades de movimento) irá se conservar. Em outras palavras, a quantidade de movimento do sistema é constante.

### Impulso de uma Força Constante

Considere um corpo apoiado numa superfície horizontal e sujeito à ação de uma força constante  $F$ , paralela ao plano, durante um intervalo de tempo  $\Delta t$ , conforme mostra a figura.



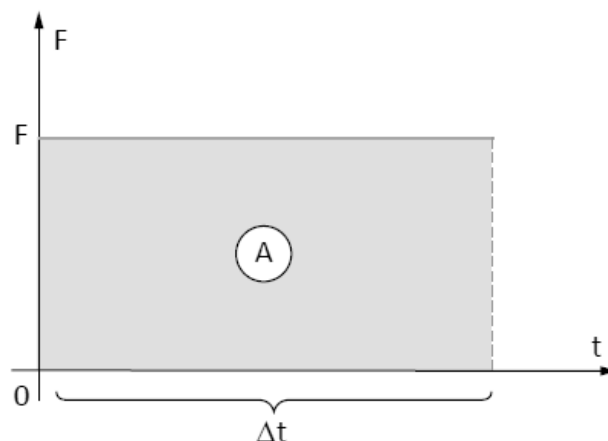
O impulso de uma força é definido como o produto da força aplicada pelo intervalo de tempo de ação da força. Logo,

$$I = F \cdot t$$

Observe que o impulso é uma grandeza vetorial. No sistema internacional de unidades impulso é dado é N.s.

### Impulso de uma Força Variável

Uma outra forma de se calcular o impulso de uma força é a partir do gráfico da força em função do tempo de atuação. Nesse gráfico o impulso é dado pela área do gráfico.



### Teorema do Impulso

Considere uma força resultante atuando sobre um corpo durante um intervalo de tempo  $\Delta t$ . Essa força resultante gera uma aceleração  $e$ , consequentemente, altera a velocidade do corpo. Podemos dizer que essa força resultante produz um impulso resultante. É possível demonstrar que o impulso resultante é equivalente à variação da quantidade de movimento que o corpo sofreu. Logo,

$$I_r = \Delta Q$$

### Colisões

As situações que aparecem com maior frequência para utilizarmos a conservação da quantidade de movimento, sem dúvida, são as colisões. Por isso, vamos estudá-las um pouco mais a fundo.

Existem basicamente dois tipos de colisões: as elásticas e as inelásticas.

As colisões elásticas são aquelas em que a energia cinética do sistema será conservada, ou seja, não ocorre perda de energia durante a colisão.

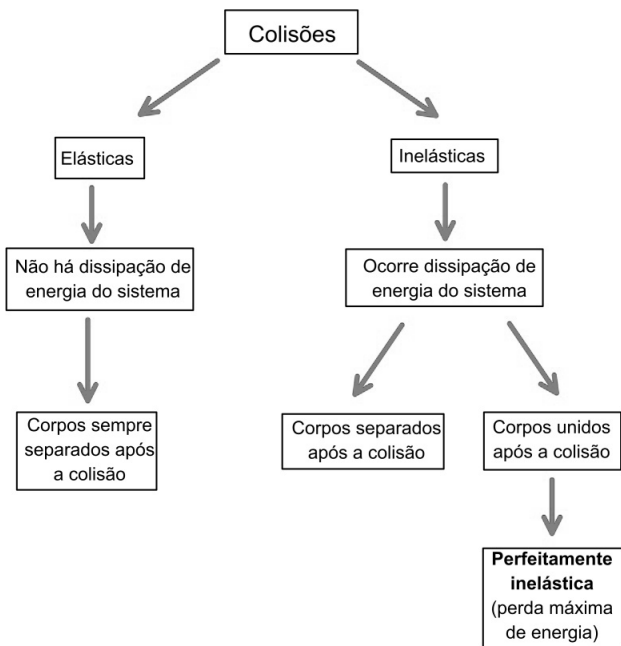
Repare que tal fato é realmente difícil de ocorrer, já que uma colisão pode dissipar energia de diversas formas, como energia sonora, energia de deformação (já que é comum os corpos se deformarem), energia térmica (devido ao atrito que pode aparecer entre os corpos), entre outras maneiras. Assim, as colisões elásticas são aquelas em que a perda de energia pode ser desprezada. Isso geralmente ocorre em situações em que os corpos não sofrem deformações permanentes. A colisão entre bolas de bilhar é um bom exemplo de uma colisão elástica.

As colisões inelásticas são aquelas em que ocorre perda de energia cinética do sistema durante a colisão.

Essas colisões acontecem quando a colisão dissipa energia de uma das formas que vimos acima. É o que acontece na maioria das colisões. Uma colisão entre carros é quase sempre inelástica. Os carros atuais são produzidos com latarias mais frágeis, para elas se amassarem mais facilmente. Essa é uma maneira de dissipar a energia dos carros, para que a colisão seja mais suave.

As colisões inelásticas podem se subdividir em dois grupos: as colisões parcialmente inelásticas (quando os corpos saem separados) e as perfeitamente inelásticas (quando os corpos permanecem unidos depois da colisão).

A principal diferença entre elas é o fato de que a colisão perfeitamente inelástica representa a situação de perda máxima de energia. Veja o esquema abaixo que reúne as características das colisões:



**Exercício Resolvido** .....

(PUC-RJ) Um objeto de massa  $M_1 = 4,0$  kg desliza, sobre um plano horizontal sem atrito, com velocidade  $V = 5,0$  m/s, até atingir um segundo corpo de massa  $M_2 = 5,0$  kg, que está em repouso. Após a colisão, os corpos ficam grudados.

Calcule a velocidade final  $V_f$  dos dois corpos grudados.

- A)  $V_f = 22$  m/s
- B)  $V_f = 11$  m/s
- C)  $V_f = 5,0$  m/s
- D)  $V_f = 4,5$  m/s
- E)  $V_f = 2,2$  m/s

**Resolução:**

Dados:  $M_1 = 4$  kg;  $M_2 = 5$  kg;  $V_1 = V = 5$  m/s;  $V_2 = 0$ .

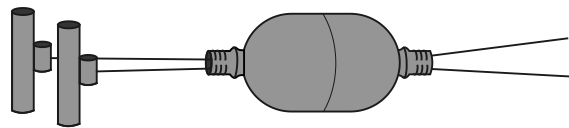
Como o sistema é mecanicamente isolado, ocorre conservação da quantidade de movimento:

$$Q_{\text{sist}}^{\text{inicial}} = Q_{\text{sist}}^{\text{final}} \Rightarrow M_1 V_1 + M_2 V_2 = (M_1 + M_2) V_f \Rightarrow 4(5) + 5(0) = (4 + 5) V_f \Rightarrow V_f = \frac{20}{9} = 2,2 \text{ m/s.}$$

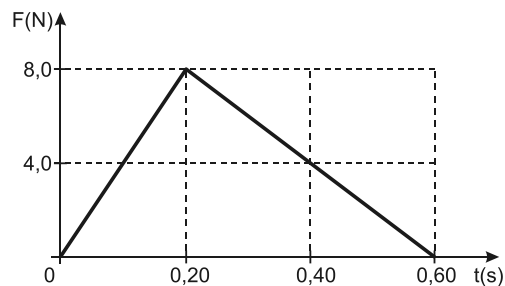
Gabarito: Letra E

**Exercício Resolvido** .....

(Fgv) Um brinquedo muito simples de construir, e que vai ao encontro dos ideais de redução, reutilização e reciclagem de lixo, é retratado na figura.



A brincadeira, em dupla, consiste em mandar o bôlido de 100 g, feito de garrafas plásticas, um para o outro. Quem recebe o bôlido, mantém suas mãos juntas, tornando os fios paralelos, enquanto que, aquele que o manda, abre com vigor os braços, imprimindo uma força variável, conforme o gráfico.



Considere que:

a resistência ao movimento causada pelo ar e o atrito entre as garrafas com os fios sejam desprezíveis;

o tempo que o bôlido necessita para deslocar-se de um extremo ao outro do brinquedo seja igual ou superior a 0,60 s.

Dessa forma, iniciando a brincadeira com o bôlido em um dos extremos do brinquedo, com velocidade nula, a velocidade de chegada do bôlido ao outro extremo, em m/s, é de

- A) 16.
- B) 20.
- C) 24.
- D) 28.
- E) 32.

**Resolução:**

No gráfico da força pelo tempo apresentado no enunciado, o impulso é numericamente igual a área do gráfico.

$$I = \frac{0,6(8)}{2} = 2,4 \text{ N.s}$$

Pelo Teorema do Impulso: o impulso da força resultante é igual à variação da quantidade de movimento ( $\Delta Q$ )

$$I = \Delta Q = m \Delta v \Rightarrow 2,4 = 0,1 (v - 0) \Rightarrow v = 24 \text{ m/s.}$$

Gabarito: Letra C



## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

186

► (Unicamp) Beisebol é um esporte que envolve o arremesso, com a mão, de uma bola de 140 g de massa na direção de outro jogador que irá rebatê-la com um taco sólido. Considere que, em um arremesso, o módulo da velocidade da bola chegou a 162 km/h, imediatamente após deixar a mão do arremessador. Sabendo que o tempo de contato entre a bola e a mão do jogador foi de 0,07 s, o módulo da força média aplicada na bola foi de

- A) 324 N
- B) 90 N
- C) 6,3 N
- D) 11,3 N

187

(Unicamp) Muitos carros possuem um sistema de segurança para os passageiros chamado *airbag*. Este sistema consiste em uma bolsa de plástico que é rapidamente inflada quando o carro sofre uma desaceleração brusca, interpondo-se entre o passageiro e o painel do veículo. Em uma colisão, a função do *airbag* é

- A) aumentar o intervalo de tempo de colisão entre o passageiro e o carro, reduzindo assim a força recebida pelo passageiro.
- B) aumentar a variação de momento linear do passageiro durante a colisão, reduzindo assim a força recebida pelo passageiro.
- C) diminuir o intervalo de tempo de colisão entre o passageiro e o carro, reduzindo assim a força recebida pelo passageiro.
- D) diminuir o impulso recebido pelo passageiro devido ao choque, reduzindo assim a força recebida pelo passageiro.

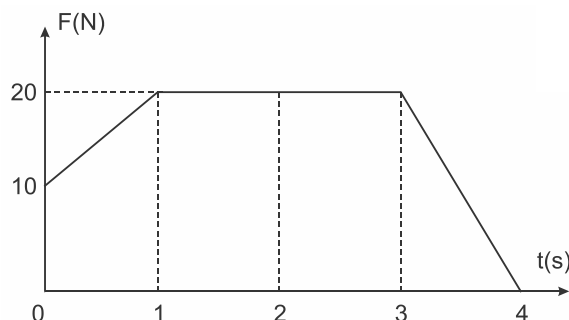
188

► (Udesc) Um jogador de futebol, ao cobrar uma falta, chuta a bola de forma que ela deixa seu pé com uma velocidade de 25 m/s. Sabendo que a massa da bola é igual a 400 g e que o tempo de contato entre o pé do jogador e a bola, durante o chute, foi de 0,01 s, a força média exercida pelo pé sobre a bola é igual a:

- A) 100 N
- B) 6250 N
- C) 2500 N
- D) 1000 N
- E) 10000 N

189

► (CEFET-MG) O gráfico abaixo mostra a intensidade de uma força aplicada a um corpo no intervalo de tempo de 0 a 4 s.

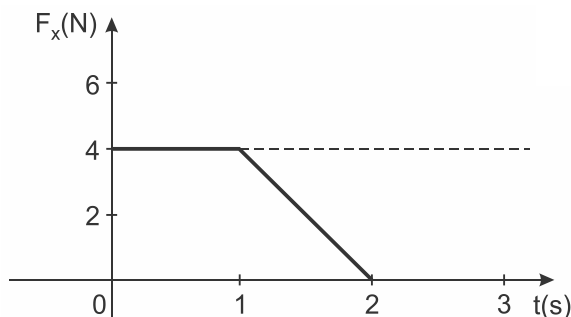


O impulso da força, no intervalo especificado, vale

- A) 95 kg.m/s
- B) 85 kg.m/s
- C) 65 kg.m/s
- D) 60 kg.m/s

190

► (Ufrgs) Um bloco de massa 1 kg move-se retilineamente com velocidade de módulo constante igual a 3 m/s sobre uma superfície horizontal sem atrito. A partir de dado instante, o bloco recebe o impulso de sua força externa aplicada na mesma direção e sentido de seu movimento. A intensidade dessa força, em função do tempo, é dada pelo gráfico abaixo. A partir desse gráfico, pode-se afirmar que o módulo da velocidade do bloco após o impulso recebido é, em m/s, de



- A) -6
- B) 1
- C) 5
- D) 7
- E) 9

191

(UECE) Considere uma esfera metálica em queda livre sob a ação somente da força peso. Sobre o módulo do momento linear desse corpo, pode-se afirmar corretamente que

- A) aumenta durante a queda.
- B) diminui durante a queda.
- C) é constante e diferente de zero durante a queda.
- D) é zero durante a queda.

192

(UEG) Na olimpíada, o remador Isaquias Queiroz, ao se aproximar da linha de chegada com o seu barco, lançou seu corpo para trás. Os analistas do esporte a remo disseram que esse ato é comum nessas competições, ao se cruzar a linha de chegada.

Em física, o tema que explica a ação do remador é

- A) o lançamento oblíquo na superfície terrestre.
- B) a conservação da quantidade de movimento.
- C) o processo de colisão elástica unidimensional.
- D) o princípio fundamental da dinâmica de Newton.
- E) a grandeza viscosidade no princípio de Arquimedes.

193

(Udesc) Com relação às colisões elástica e inelástica, analise as proposições.

- I. Na colisão elástica, o momento linear e a energia cinética não se conservam.
- II. Na colisão inelástica, o momento linear e a energia cinética não se conservam.
- III. O momento linear se conserva tanto na colisão elástica quanto na colisão inelástica.
- IV. A energia cinética se conserva tanto na colisão elástica quanto na colisão inelástica.

Assinale a alternativa correta.

- A) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- B) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- C) Somente a afirmativa IV é verdadeira.
- D) Somente as afirmativas III e IV são verdadeiras.
- E) Todas as afirmativas são verdadeiras.

194

► (Espcex) Um canhão, inicialmente em repouso, de massa 600 kg, dispara um projétil de massa 3 kg com velocidade horizontal de 800 m/s. Desprezando todos os atritos, podemos afirmar que a velocidade de recuo do canhão é de:

- A) 2 m/s
- B) 4 m/s
- C) 6 m/s
- D) 8 m/s
- E) 12 m/s

195

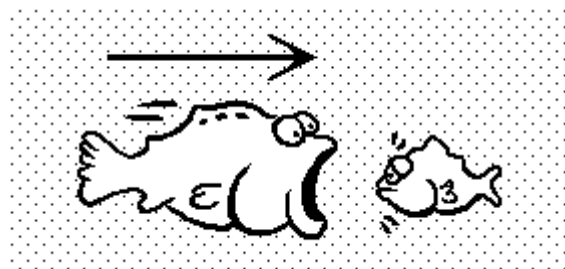
► (UFF) Cada esquema, a seguir, revela as situações observadas imediatamente antes e depois da colisão entre dois objetos. Nestes esquemas, a massa de cada objeto é dada em quilograma e a velocidade em metro por segundo.

O esquema que corresponde à colisão perfeitamente elástica é o indicado na opção:

	ANTES	DEPOIS
a)		
b)		
c)		
d)		
e)		

196

► (UERJ) Um peixe de 4 kg, nadando com velocidade de 1,0 m/s, no sentido indicado pela figura, engole um peixe de 1 kg, que estava em repouso, e continua nadando no mesmo sentido.



A velocidade, em m/s, do peixe maior, imediatamente após a ingestão, é igual a:

- A) 1,0
- B) 0,8
- C) 0,6
- D) 0,4

197

(PUC-RJ) Uma massa de 10 g e velocidade inicial de 5,0 m/s colide, de modo totalmente inelástico, com outra massa de 15 g que se encontra inicialmente em repouso.

O módulo da velocidade das massas, em m/s, após a colisão é:

- A) 0,20
- B) 1,5
- C) 3,3
- D) 2,0
- E) 5,0



198

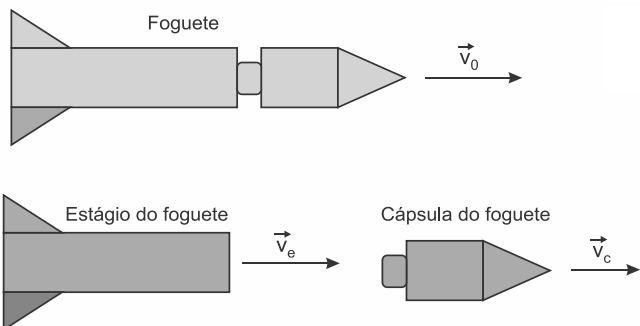
► (Unicamp) Tempestades solares são causadas por um fluxo intenso de partículas de altas energias ejetadas pelo Sol durante erupções solares. Esses jatos de partículas podem transportar bilhões de toneladas de gás eletrizado em altas velocidades, que podem trazer riscos de danos aos satélites em torno da Terra.

Considere que, em uma erupção solar em particular, um conjunto de partículas de massa total  $M_p = 5 \text{ kg}$  deslocando-se com velocidade de módulo  $V_p = 2,0 \times 10^5 \text{ m/s}$ , choca-se com um satélite de massa  $M_s = 95 \text{ kg}$  que se desloca com velocidade de módulo igual a  $V_s = 4,0 \times 10^3 \text{ m/s}$ , na mesma direção e em sentido contrário ao das partículas. Se a massa de partículas adere ao satélite após a colisão, o módulo da velocidade final do conjunto será de

- A) 102.000 m/s
- B) 14.000 m/s
- C) 6.200 m/s
- D) 3.900 m/s

199

► (PUC-PR) Um foguete, de massa  $M$ , encontra-se no espaço e na ausência de gravidade com uma velocidade ( $V_0$ ) de 3000 km/h em relação a um observador na Terra, conforme ilustra a figura a seguir. Num dado momento da viagem, o estágio, cuja massa representa 75% da massa do foguete, é desacoplado da cápsula. Devido a essa separação, a cápsula do foguete passa a viajar 800 km/h mais rápido que o estágio. Qual a velocidade da cápsula do foguete, em relação a um observador na Terra, após a separação do estágio?

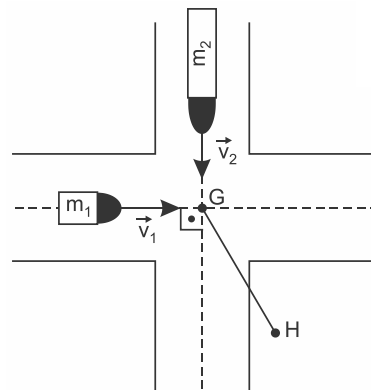


OBS: as velocidades informadas são em relação a um observador na Terra.

- A) 3000 km/h
- B) 3200 km/h
- C) 3400 km/h
- D) 3600 km/h
- E) 3800 km/h

200

► (Espcex) Dois caminhões de massa  $m_1 = 2,0 \text{ ton}$  e  $m_2 = 4,0 \text{ ton}$  com velocidades  $v_1 = 30 \text{ m/s}$  e  $v_2 = 20 \text{ m/s}$ , respectivamente, e trajetórias perpendiculares entre si, colidem em um cruzamento no ponto G e passam a se movimentar unidos até o ponto H, conforme a figura abaixo. Considerando o choque perfeitamente inelástico, o módulo da velocidade dos veículos imediatamente após a colisão é:

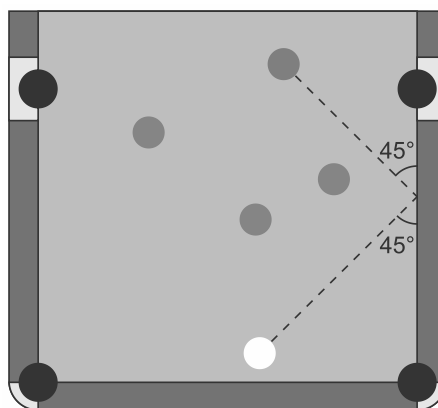


desenho ilustrativo - fora de escala

- A) 30 km/h
- B) 40 km/h
- C) 60 km/h
- D) 70 km/h
- E) 75 km/h

201

► (Famerp) Durante uma partida de sinuca, um jogador, impossibilitado de atingir diretamente a bola vermelha com a bola branca, decide utilizar a tabela da mesa. Ele dá uma tacada na bola branca, que, seguindo a trajetória tracejada indicada na figura, com velocidade escalar constante de módulo  $v$ , acerta a bola vermelha.

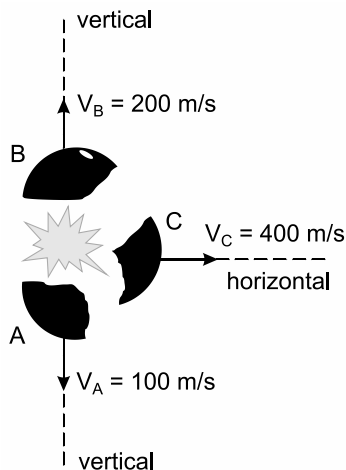


Sendo  $m$  a massa da bola branca, o módulo da variação da quantidade de movimento sofrida por essa bola na colisão contra a tabela da mesa foi igual a

- A)  $mv \cdot \sqrt{2}$
- B) zero
- C)  $mv$
- D)  $2mv$
- E)  $mv \cdot \sqrt{3}$

202

▶ (Unesp) Enquanto movia-se por uma trajetória parabólica depois de ter sido lançada obliquamente e livre de resistência do ar, uma bomba de 400 g explodiu em três partes, A, B e C, de massas  $m_A = 200$  g e  $m_B = m_C = 100$  g. A figura representa as três partes da bomba e suas respectivas velocidades em relação ao solo, imediatamente depois da explosão.

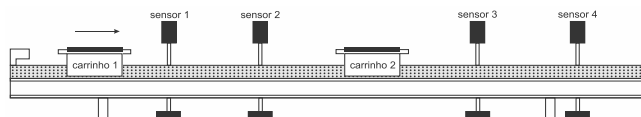


Analisando a figura, é correto afirmar que a bomba, imediatamente antes de explodir, tinha velocidade de módulo igual a

- A) 100 m/s e explodiu antes de atingir a altura máxima de sua trajetória.
- B) 100 m/s e explodiu exatamente na altura máxima de sua trajetória.
- C) 200 m/s e explodiu depois de atingir a altura máxima de sua trajetória.
- D) 400 m/s e explodiu exatamente na altura máxima de sua trajetória.
- E) 400 m/s e explodiu depois de atingir a altura máxima de sua trajetória.

203

▶ (Enem) O trilho de ar é um dispositivo utilizado em laboratórios de física para analisar movimentos em que corpos de prova (carrinhos) podem se mover com atrito desprezível. A figura ilustra um trilho horizontal com dois carrinhos (1 e 2) em que se realiza um experimento para obter a massa do carrinho 2. No instante em que o carrinho 1, de massa 150 g, passa a se mover com velocidade escalar constante, o carrinho 2 está em repouso. No momento em que o carrinho 1 se choca com o carrinho 2, ambos passam a se movimentar juntos com velocidade escalar constante. Os sensores eletrônicos distribuídos ao longo do trilho determinam as posições e registram os instantes associados à passagem de cada carrinho, gerando os dados do quadro.



Carrinho 1		Carrinho 2	
Posição (cm)	Instante (s)	Posição (cm)	Instante (s)
15,0	0,0	45,0	0,0
30,0	1,0	45,0	1,0
75,0	8,0	75,0	8,0
90,0	11,0	90,0	11,0

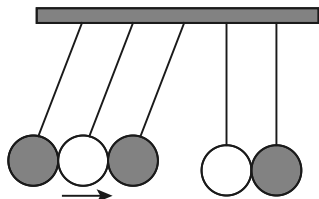
Com base nos dados experimentais, o valor da massa do carrinho 2 é igual a:

- A) 50 g
- B) 250 g
- C) 300 g
- D) 450 g
- E) 600 g



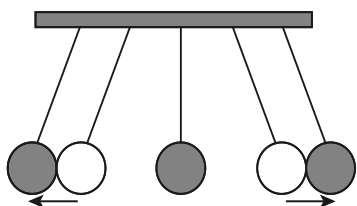
204

(Enem) O pêndulo de Newton pode ser constituído por cinco pêndulos idênticos suspensos em um mesmo suporte. Em um dado instante, as esferas de três pêndulos são deslocadas para a esquerda e liberadas, deslocando-se para a direita e colidindo elasticamente com as outras duas esferas, que inicialmente estavam paradas.

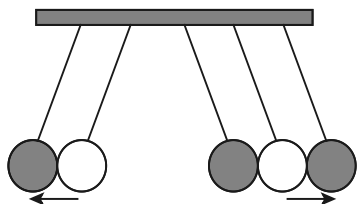


O movimento dos pêndulos após a primeira colisão está representado em:

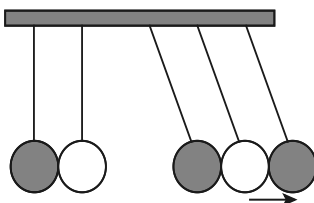
A) a)



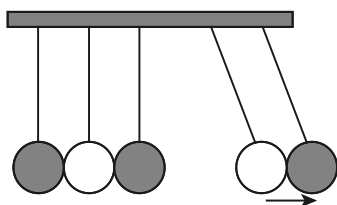
B) b)



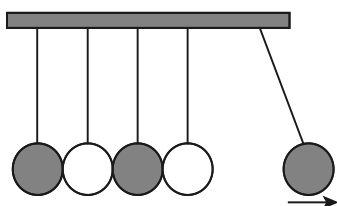
C) c)



D) d)



E) e)



205

(Enem PPL) Durante um reparo na estação espacial internacional, um cosmonauta, de massa 90 kg, substituiu uma bomba do sistema de refrigeração, de massa 360 kg, que estava danificada. Inicialmente, o cosmonauta e a bomba estão em repouso em relação à estação. Quando ele empurra a bomba para o espaço, ele é empurrado no sentido oposto. Nesse processo, a bomba adquire uma velocidade de 0,2 m/s em relação à estação.

Qual é o valor da velocidade escalar adquirida pelo cosmonauta, em relação à estação, após o empurrão?

- A) 0,05 m/s
- B) 0,20 m/s
- C) 0,40 m/s
- D) 0,50 m/s
- E) 0,80 m/s

MÓDULO 07: GRAVITAÇÃO

Nesse módulo estudaremos o movimento dos planetas, assim como a interação desses astros com as estrelas e os seus satélites. Esse estudo será basicamente dividido em duas partes: as descobertas de Johannes Kepler e a teoria de Isaac Newton, chamada de gravitação universal.

Leis de Kepler

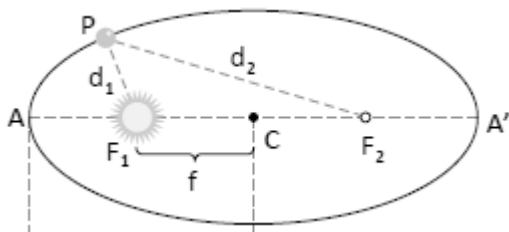
Nascido na Alemanha em 1571, Johannes Kepler foi considerado um dos principais astrônomos e matemáticos de sua época. O que ele fez de mais importante foi explicar o movimento dos planetas em torno do Sol.

Kepler usou dados sobre o movimento de Marte que foram coletados por Tycho Brahe entre 1580 e 1600. Com tantos dados e anotações, ele conseguiu fazer deduções matemáticas sobre o movimento dos planetas. As suas deduções e conclusões explicam de maneira bastante surpreendente para a época como se dá o movimento dos planetas em torno do Sol e ficaram conhecidas como leis de Kepler.

1ª Lei de Kepler

Kepler descobriu que os planetas giram em torno do Sol não em órbitas circulares, mas em órbitas elípticas. Essa descoberta representa uma imensa quebra de paradigma para a época, já que o próprio heliocentrismo era um conceito relativamente novo e ainda não aceito por muitos.

Kepler demonstrou matematicamente que as trajetórias dos planetas em torno do Sol eram elípticas e com o Sol ocupando um dos focos dessa elipse, deixando o outro vazio.



Quando um planeta está mais próximo do Sol, dizemos que ele está no periélio de sua órbita e quando está mais distante do Sol, dizemos que está no afélio.

Os planetas se movem ao redor do Sol em trajetórias elípticas, estando o Sol em um dos focos dessa elipse.

Uma elipse é uma curva que quando somamos a distância de um ponto qualquer da elipse aos dois focos, o resultado é sempre constante. Em outras palavras se somarmos a distância da Terra ao Sol com a distância da Terra ao outro foco vazio da elipse, o resultado será sempre o mesmo, em qualquer ponto da trajetória terrestre.

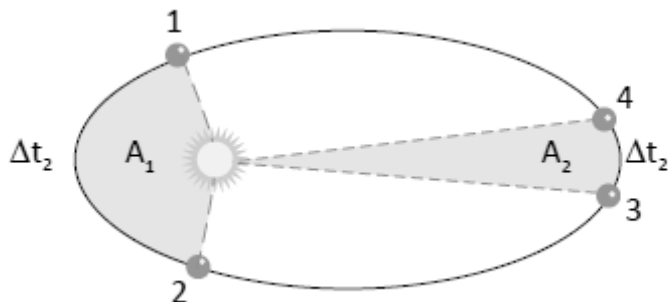
As elipses que constituem as órbitas planetárias possuem excentricidade muito próxima de zero. Isso significa que são curvas pouco "achatadas", ou seja, elas se parecem bastante com círculos, visualmente falando. Para se ter uma ideia, a distância média da Terra ao Sol é de aproximadamente 150.000.000 Km, com um acréscimo de aproximadamente 2% quando o Terra passa no afélio e uma subtração desse mesmo valor quando ela passa no periélio de sua trajetória.

2ª Lei de Kepler

Uma percepção ainda mais apurada de Kepler o levou a uma conclusão fantástica sobre o movimento planetário, que pode ser enunciada na seguinte frase:

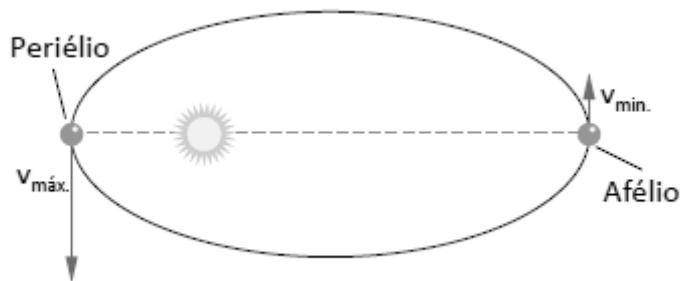
O vetor que parte do Sol e indica a posição do planeta percorre áreas iguais em tempos iguais.

A frase acima pode parecer um pouco confusa, mas se torna mais clara mediante uma ilustração.



Se os tempos  $\Delta t$  forem iguais, então todas as áreas sombreadas também serão iguais.

A 2ª lei de Kepler nos leva a conclusões importantes sobre o movimento planetário. Observe que, como a distância entre os pontos A e B é menor do que a distância entre os pontos C e D e os tempos  $\Delta t_1$  e  $\Delta t_2$  são iguais então, conclui-se que a velocidade do planeta é diferente ao longo de sua trajetória. Além disso, podemos concluir que um planeta é mais rápido no periélio do que no afélio.



Então Kepler anuncia mais uma ideia bastante nova. O movimento dos planetas além de não ser circular, ele ainda por cima não acontece com velocidade constante! Ele é elíptico e o planeta é tão mais rápido quanto mais próximo do Sol ele estiver.

3ª Lei de Kepler

Como alguns planetas do sistema solar são visíveis no céu noturno, mesmo a olho nu, podia-se mesmo na época de Kepler observar e catalogar vários dados do movimento planetário. Um dos dados mais fáceis de serem obtidos é o período do movimento do planeta, bastante para isso observar ao longo dos anos de quanto em quanto tempo o movimento daquele planeta se repete. Então era mesmo de se esperar que Kepler enunciasse algo a respeito disso.

A 3ª lei de Kepler relaciona o período do movimento do planeta (T) com o raio médio de sua órbita ( $R_m$ ), através da seguinte relação matemática:

$$\frac{T^2}{R^3} = k$$





Onde K representa uma constante que depende do corpo que está sendo orbitado.

Desse enunciado de Kepler, podemos concluir que:

- Quanto mais distante um planeta se encontra do Sol, maior será o seu período de translação.
- A 3ª lei de Kepler é aplicável para quaisquer corpos que girem em torno de um mesmo astro. Assim, ela pode ser usada para dois de qualquer um dos planetas que giram em torno do Sol. No entanto, também podemos aplicar a 3ª lei de Kepler para, por exemplo, o satélite Intelsat (satélite de telecomunicações que orbita a Terra) e a lua, pois ambos giram em torno de um mesmo astro. Veja:

### Lei da Gravitação Universal de Newton

A formulação de Isaac Newton para a teoria da Gravitação Universal deu origem a uma das histórias mais famosas do mundo científico. Conta-se por aí, que ele estava dormindo debaixo de uma macieira e teria tido uma ideia brilhante quando uma maçã caiu sobre a sua cabeça. Certamente a história não é tão simples assim!

O que Newton fez foi comparar a queda de uma maçã com o movimento da Lua. Ele pensou que a força que atrai a maçã em direção ao solo da Terra seria da mesma natureza do que aquela força que mantém a Lua em órbita em torno do nosso planeta. Através desse raciocínio e depois de muito esforço e concentração, Isaac Newton formulou a teoria da gravitação universal. O termo universal aparece no nome da teoria, pois ela pode ser aplicada para todos os astros do universo. Ela não está restrita somente aos corpos do sistema solar.

A principal ideia de Newton para formular essa teoria foi a sua suposição de que todos os corpos se atraem. Essa força de atração entre os corpos deveria ser proporcional à massa de cada um dos corpos. Isso explicaria o fato da Terra atrair tanto a Lua, quanto uma maçã! Ele também supôs que essa força seria inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os centros dos corpos envolvidos. Essa força ficou conhecida como força gravitacional, mas cotidianamente a chamamos de força peso. Foi a partir dessa ideia genial, que Newton explica o movimento de todos os astros celestes conhecidos até então e, inclusive, consegue deduzir e provar matematicamente as leis de Kepler.

Somente muitos anos depois, outro cientista chamado Henry Cavendish conseguiu montar um experimento e medir experimentalmente a força gravitacional entre dois corpos. Esse experimento ficou muito famoso pois permitiu a determinação do valor de uma constante (G) que transforma a proporção de Newton em uma igualdade. Veja:

$$F = \frac{GMm}{d^2}$$

O valor da constante G, conhecida como constante de gravitação universal, foi determinado por Cavendish e vale:

$$G = 6,69 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2$$

Por mais estranho que isso possa parecer, a teoria de Newton prevê que todos os corpos se atraem. Isso significa que o seu corpo atrai os objetos a sua volta, assim como o Sol atrai a Terra. A diferença entre esses dois exemplos é que a sua massa é tão pequena que a atração dos objetos a sua volta se torna uma força desprezível. Ela existe, mas é tão pequena que não é capaz de provocar nenhuma consequência nesses corpos. Isso acontece também porque a constante G possui um valor extremamente pequeno.

### Aceleração da gravidade (g)

Através da teoria de Newton para a gravitação, podemos deduzir a aceleração da gravidade em torno de qualquer astro ou planeta. Imagine um corpo pequeno em queda livre nas proximidades de um planeta Y qualquer. Como sabemos, aceleração da gravidade de um planeta é a aceleração que os corpos adquirem quando em queda livre nas proximidades do planeta. Vamos então calcular essa aceleração através da 2ª lei de Newton.

Como a força gravitacional é a única força atuando no corpo de massa m, sabemos então que ela é a força resultante sobre ele, então:

$$F_r = \frac{GMm}{d^2}$$

Entretanto como a força gravitacional é a força peso, temos:

$$P = \frac{GMm}{d^2}$$

$$mg = \frac{GMm}{d^2}$$

Logo,

$$g = \frac{GM}{d^2}$$

Da equação acima, podemos tirar algumas conclusões:

- A aceleração da gravidade de um astro, só depende da massa do astro e não depende da massa do corpo que está em queda livre. É por isso que, todos os corpos em queda livre na Terra possuem a mesma aceleração.
- Quando um corpo estiver próximo à superfície do planeta, a equação acima pode ser escrita como:

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

Pois a distância "d" representa a distância entre os centros dos corpos e, aqui pode ser substituída pelo raio do planeta (R).

- Percebemos que a aceleração da gravidade diminui na medida em que o corpo se afasta do centro do astro ou do planeta. No caso da Terra, por exemplo, um corpo na superfície da Terra está a aproximadamente 6.000 Km de distância do centro do planeta. Portanto, quando subimos em um prédio, em uma montanha ou até mesmo quando viajamos de avião, a aceleração da gravidade não diminui de maneira significativa, já que a nossa distância ao centro do planeta permanece praticamente a mesma!
- Como a aceleração da gravidade da Terra é facilmente medida através de experiências, a equação acima pode ser usada para estimar a massa do nosso planeta!

### Exercício Resolvido . . . . .

(UFTM) No sistema solar, Netuno é o planeta mais distante do Sol e, apesar de ter um raio 4 vezes maior e uma massa 18 vezes maior do que a Terra, não é visível a olho nu. Considerando a Terra e Netuno esféricos e sabendo que a aceleração da gravidade na superfície da Terra vale  $10 \text{ m/s}^2$ , pode-se afirmar que a intensidade da aceleração da gravidade criada por Netuno em sua superfície é, em  $\text{m/s}^2$ , aproximadamente,

- 9.
- 11.
- 22.
- 36.
- 45.

## Resolução:

Na Terra:

$$g_T = \frac{GM}{R^2} = 10 \text{ m/s}^2.$$

Em Netuno:

$$g_N = \frac{G(18M)}{(4R)^2}$$

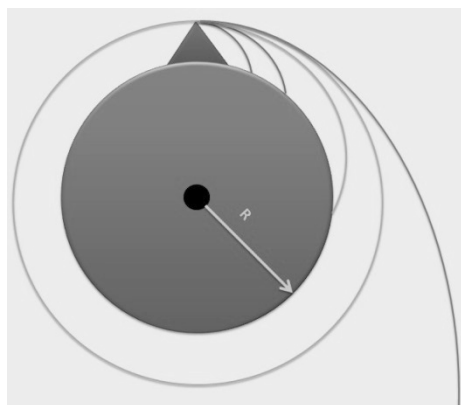
$$g_N = \frac{18}{16} \left( \frac{GM}{R^2} \right) = \frac{9}{8} g_T = \frac{9}{8} (10)$$

$$g_N = 11,25 \text{ m/s}^2.$$

Gabarito: Letra B

## Lançamento de satélites

Para um satélite entrar em órbita ao redor da Terra, ele deve ser lançado horizontalmente em relação à superfície do planeta, mas com uma altitude adequada e velocidade inicial pré-determinada. A figura abaixo mostra as possíveis possibilidades para um satélite lançado de uma certa altura com diferentes velocidades:



Assim, um lançamento de satélite deve ser encarado como um lançamento horizontal qualquer, mas que, na velocidade exata o satélite entra em órbita circular e uniforme. Para determinarmos essa velocidade, devemos igualar a força gravitacional que o planeta exerce no satélite à força centrípeta do movimento. Veja:

$$F_c = \frac{GMm}{R^2}$$

$$\frac{mv^2}{R} = \frac{GMm}{R^2}$$

Aqui, podemos simplificar a massa do satélite "m" que aparece em ambos os lados da equação; e também a distância "d" com o raio "R", já que ambos representam a distância do satélite ao centro do planeta. Então:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

Essa fórmula calcula a velocidade exata com que o satélite deve ser lançado horizontalmente para que entre em movimento circular e uniforme em torno da Terra. Observando essa fórmula podemos retirar algumas conclusões:

- Quanto mais distante o satélite estiver do planeta, menor será a velocidade necessária para ele entrar em órbita.

- A velocidade necessária para colocar o satélite em órbita não depende da massa do satélite, apenas da massa do planeta.

- Quanto mais distante o satélite estiver, maior será o seu período de órbita, pois a sua velocidade será menor e com uma distância maior a percorrer. Esse resultado está de acordo com a 3ª lei de Kepler.

## Satélites Geoestacionários

Por definição são aqueles satélites que giram acompanhando o movimento de rotação da Terra. Isso significa que ele estará sempre em cima do mesmo ponto da superfície do nosso planeta.

Esses satélites são importantes para a telecomunicação de uma maneira geral. Os satélites com esse objetivo são sempre geoestacionários, para que facilite o envio de informações de um ponto a outro da superfície terrestre.

Perceba que, todo satélite geoestacionário possui obrigatoriamente as seguintes características:

- Possui período de 24 horas. Como gira sempre sobre o mesmo ponto da Terra, deve possuir o mesmo período de rotação que o nosso planeta possui.

- Gira com a mesma velocidade angular que a Terra. Sempre que dois corpos possuírem o mesmo período também terão a mesma velocidade angular.

- A sua velocidade linear é maior do que a velocidade linear de um ponto na superfície da Terra. Isso porque o satélite geoestacionário acaba percorrendo uma distância maior no mesmo tempo em que um ponto na superfície do planeta.

- Gira necessariamente no mesmo plano do equador terrestre. Em qualquer outra órbita estável fora do plano do equador, o satélite não conseguiria se manter sobre o mesmo ponto da superfície do planeta.

- Necessita de uma distância exata da superfície da Terra. Como vimos anteriormente, o período de um satélite é tão maior quanto mais distante ele estiver do planeta. Assim, para que o satélite possua o período de 24 horas, sua órbita deve ficar a uma distância exata da Terra. No caso do nosso planeta, essa distância é de 36.000 Km.

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

206

(Udesc) Analise as proposições com relação às Leis de Kepler sobre o movimento planetário.

- I. A velocidade de um planeta é maior no periélio.
- II. Os planetas movem-se em órbitas circulares, estando o Sol no centro da órbita.
- III. O período orbital de um planeta aumenta com o raio médio de sua órbita.
- IV. Os planetas movem-se em órbitas elípticas, estando o Sol em um dos focos.
- V. A velocidade de um planeta é maior no afélio.

Assinale a alternativa correta.

- A) Somente as afirmativas I, II e III são verdadeiras.
- B) Somente as afirmativas II, III e V são verdadeiras.
- C) Somente as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.
- D) Somente as afirmativas III, IV e V são verdadeiras.
- E) Somente as afirmativas I, III e V são verdadeiras.



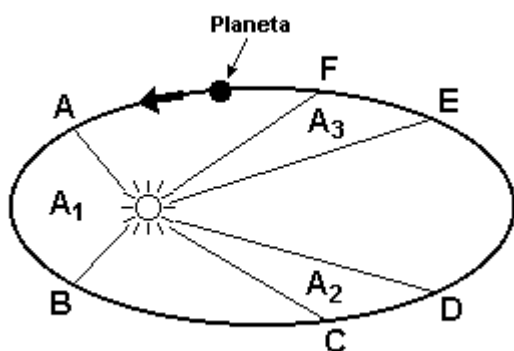
207

► (Uespi) Um planeta orbita em um movimento circular uniforme de período  $T$  e raio  $R$ , com centro em uma estrela. Se o período do movimento do planeta aumentar para  $8T$ , por qual fator o raio da sua órbita será multiplicado?

- A) 1/4
- B) 1/2
- C) 2
- D) 4
- E) 8

208

► (UERJ) A figura ilustra o movimento de um planeta em torno do sol.



Se os tempos gastos para o planeta se deslocar de A para B, de C para D e de E para F são iguais, então as áreas  $A_1$ ,  $A_2$ , e  $A_3$  - apresentam a seguinte relação:

- A)  $A_1 = A_2 = A_3$
- B)  $A_1 > A_2 = A_3$
- C)  $A_1 < A_2 < A_3$
- D)  $A_1 > A_2 > A_3$

209

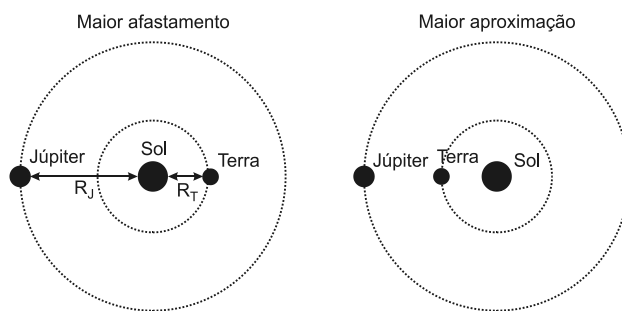
(PUC-RJ) Dois pequenos satélites de mesma massa descrevem órbitas circulares em torno de um planeta, tal que o raio da órbita de um é quatro vezes menor que o do outro. O satélite mais distante tem um período de 28 dias.

Qual é o período, em dias, do satélite mais próximo?

- A) 3,5
- B) 7,0
- C) 14
- D) 56
- E) 112

210

► (Unicamp) Em setembro de 2010, Júpiter atingiu a menor distância da Terra em muitos anos. As figuras abaixo ilustram a situação de maior afastamento e a de maior aproximação dos planetas, considerando que suas órbitas são circulares, que o raio da órbita terrestre ( $R_T$ ) mede  $1,5 \times 10^{11}$  m e que o raio da órbita de Júpiter ( $R_J$ ) equivale a  $7,5 \times 10^{11}$ .

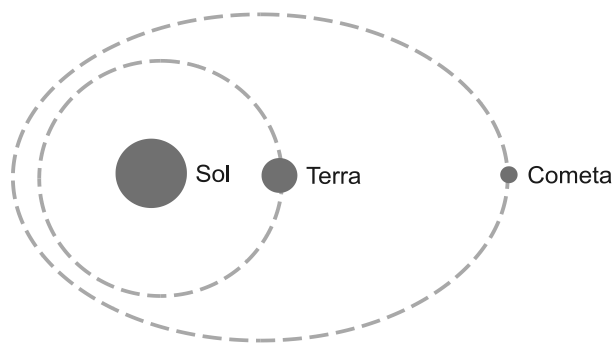


De acordo com a terceira lei de Kepler, o período de revolução e o raio da órbita desses planetas em torno do Sol obedecem à relação  $\left(\frac{T_J}{T_T}\right)^2 = \left(\frac{R_J}{R_T}\right)^3$  em que  $T_J$  e  $T_T$  são os períodos de Júpiter e da Terra, respectivamente. Considerando as órbitas circulares representadas na figura, o valor de  $T_J$ , em anos terrestres é mais próximo de

- A) 0,1.
- B) 5.
- C) 12.
- D) 125.

211

► avanços nas técnicas observacionais têm permitido aos astrônomos rastrear um número crescente de objetos celestes que orbitam o Sol. A figura mostra, em escala arbitrária, as órbitas da Terra e de um cometa (os tamanhos dos corpos não estão em escala). Com base na figura, analise as afirmações:



- I. Dada a grande diferença entre as massas do Sol e do cometa, a atração gravitacional exercida pelo cometa sobre o Sol é muito menor que a atração exercida pelo Sol sobre o cometas.
- II. O módulo da velocidade do cometa é constante em todos os pontos da órbita.
- III. O período de translação do cometa é maior que um ano terrestre.

Está(ão) correta(s)

- A) apenas I.
- B) apenas III.
- C) apenas I e II.
- D) apenas II e III.
- E) I, II e III.

212

► (Ufrgs) A Astronomia estuda objetos celestes que, em sua maioria, se encontram a grandes distâncias da Terra. De acordo com a mecânica newtoniana, os movimentos desses objetos obedecem à Lei da Gravitação Universal.

Considere as seguintes afirmações, referentes às unidades empregadas em estudos astronômicos.

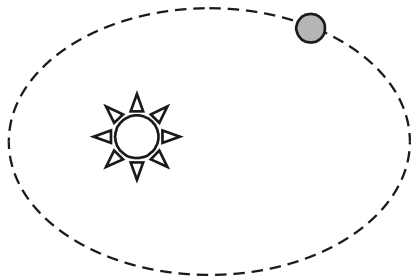
- I. Um ano-luz corresponde à distância percorrida pela luz em um ano.
- II. Uma unidade Astronômica (1 UA) corresponde à distância média entre a Terra e o Sol.
- III. No Sistema Internacional (SI), a unidade da constante G da Lei da Gravitação Universal é  $m/s^2$ .

Quais estão corretas?

- A) Apenas I.
- B) Apenas II.
- C) Apenas III.
- D) Apenas I e II.
- E) I, II e III.

213

(UEMG) Em seu movimento em torno do Sol, a Terra descreve uma trajetória elíptica, como na figura, a seguir:



São feitas duas afirmações sobre esse movimento:

- I. A velocidade da Terra permanece constante em toda a trajetória.
- II. A mesma força que a Terra faz no Sol, o Sol faz na Terra.

Sobre tais afirmações, só é correto dizer que

- A) as duas afirmações são verdadeiras.
- B) apenas a afirmação 1 é verdadeira.
- C) apenas a afirmação 2 é verdadeira.
- D) as duas afirmações são falsas.

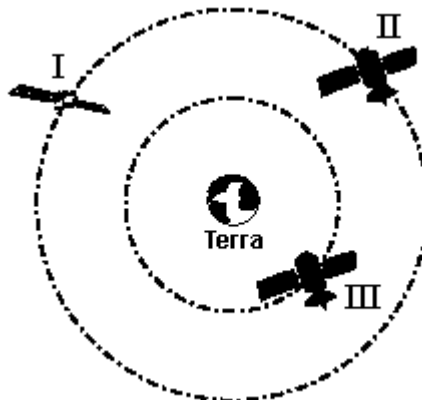
214

► (UFMG) Três satélites - I, II e III - movem-se em órbitas circulares ao redor da Terra.

O satélite I tem massa  $m$  e os satélites II e III têm, cada um, massa  $2m$ .

Os satélites I e II estão em uma mesma órbita de raio  $r$  e o raio da órbita do satélite III é  $r/2$ .

Na figura (fora de escala), está representada a posição de cada um desses três satélites:



Sejam  $F(I)$ ,  $F(II)$  e  $F(III)$  os módulos das forças gravitacionais da Terra sobre, respectivamente, os satélites I, II e III.

Considerando-se essas informações, é CORRETO afirmar que

- A)  $F(I) = F(II) < F(III)$ .
- B)  $F(I) = F(II) > F(III)$ .
- C)  $F(I) < F(II) < F(III)$ .
- D)  $F(I) < F(II) = F(III)$ .

215

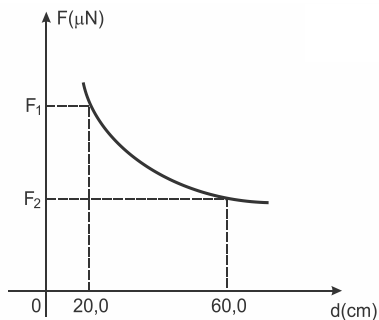
► (Eear) Dois corpos de massas  $m_1$  e  $m_2$  estão separados por uma distância  $d$  e interagem entre si com uma força gravitacional  $F$ . Se duplicarmos o valor de  $m_1$  e reduzirmos a distância entre os corpos pela metade, a nova força de interação gravitacional entre eles, em função de  $F$ , será

- A)  $F/8$
- B)  $F/4$
- C)  $4F$
- D)  $8F$



216

► (UEFS) A figura mostra como a força gravitacional entre dois corpos de massas  $M_1$  e  $M_2$  varia com a distância entre seus centros de massas.



Baseado nas informações contidas no diagrama, é correto afirmar que a razão  $F_1 / F_2$  é dada por

- A) 1/3
- B) 2/5
- C) 3
- D) 6
- E) 9

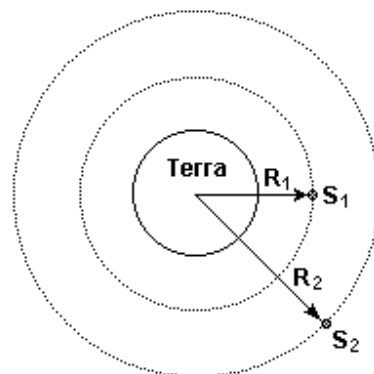
217

► (CEFET-MG) As figuras a seguir se referem a um satélite descrevendo movimento circular uniforme em torno da Terra. As setas simbolizam as forças exercidas sobre o satélite. A opção que melhor representa a(s) força(s) sobre o satélite é

- A)
- B)
- C)
- D)

218

► (UFV) Dois satélites,  $S_1$  e  $S_2$ , são colocados em órbitas circulares, de raios  $R_1$  e  $R_2$ , respectivamente, em torno da Terra, conforme figura a seguir.



Após análise da figura, é correto afirmar que:

- A) a aceleração é nula para  $S_1$  e  $S_2$ .
- B) a velocidade de  $S_2$  é maior que a velocidade de  $S_1$ .
- C) a aceleração de  $S_2$  é igual à aceleração de  $S_1$ .
- D) a aceleração de  $S_2$  é maior que a aceleração de  $S_1$ .
- E) a velocidade de  $S_1$  é maior que a velocidade de  $S_2$ .

219

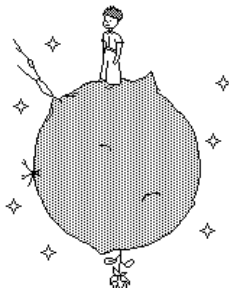
(Unesp) A força gravitacional entre um satélite e a Terra é  $F$ . Se a massa desse satélite fosse quadruplicada e a distância entre o satélite e o centro da Terra aumentasse duas vezes, o valor da força gravitacional seria

- A)  $F/4$ .
- B)  $F/2$ .
- C)  $3F/4$ .
- D)  $F$ .
- E)  $2F$ .

220

► (UFMG) O Pequeno Príncipe, do livro de mesmo nome, de Antoine de Saint-Exupéry, vive em um asteroide pouco maior que esse personagem, que tem a altura de uma criança terrestre.

Em certo ponto desse asteroide, existe uma rosa, como ilustrado nesta figura:



Após observar essa figura, Júlia formula as seguintes hipóteses:

- I. O Pequeno Príncipe não pode ficar de pé ao lado da rosa, porque o módulo da força gravitacional é menor que o módulo do peso do personagem.
- II. Se a massa desse asteroide for igual à da Terra, uma pedra solta pelo Pequeno Príncipe chegará ao solo antes de uma que é solta na Terra, da mesma altura.

Analisando-se essas hipóteses, pode-se concluir que

- A) apenas a I está correta.
- B) apenas a II está correta.
- C) as duas estão corretas.
- D) nenhuma das duas está correta.

221

► (PUC-MG) Seja  $F$  o módulo da força de atração da Terra sobre a Lua e  $V_0$  o módulo da velocidade tangencial da Lua em sua órbita, considerada circular, em torno da Terra.

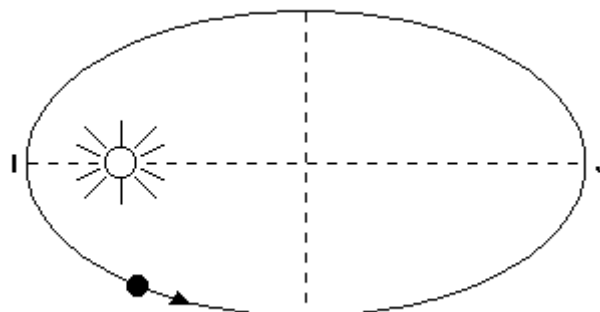
Se a massa da Terra se tornasse três vezes maior, a Lua quatro vezes menor e a distância entre estes dois astros se reduzisse à metade, a força de atração entre a Terra e a Lua passaria a ser:

- A)  $3/16 F$
- B)  $1,5 F$
- C)  $2/3 F$
- D)  $12 F$
- E)  $3F$

222

(UFMG) A figura a seguir representa a órbita elíptica de um cometa em torno do sol.

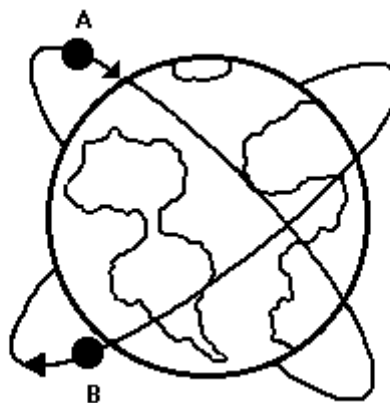
Com relação aos módulos das velocidades desse cometa nos pontos I e J,  $v_i$  e  $v_j$ , e aos módulos das acelerações nesses mesmos pontos,  $a_i$  e  $a_j$ , pode-se afirmar que



- A)  $v_i < v_j$  e  $a_i < a_j$
- B)  $v_i < v_j$  e  $a_i > a_j$
- C)  $v_i = v_j$  e  $a_i = a_j$
- D)  $v_i > v_j$  e  $a_i < a_j$
- E)  $v_i > v_j$  e  $a_i > a_j$

223

► (UFMG) A figura mostra dois satélites artificiais, A e B, que estão em órbitas circulares de mesmo raio, em torno da Terra. A massa do satélite A é maior do que a do satélite B. Com relação ao módulo das velocidades,  $v_A$  e  $v_B$ , e aos períodos de rotação,  $T_A$  e  $T_B$ , pode-se afirmar que



- A)  $v_A < v_B$  e  $T_A = T_B$
- B)  $v_A < v_B$  e  $T_A > T_B$
- C)  $v_A = v_B$  e  $T_A = T_B$
- D)  $v_A = v_B$  e  $T_A > T_B$
- E)  $v_A > v_B$  e  $T_A > T_B$



224

(Udesc) Na figura a seguir, o sul-africano Mark Shuttleworth, que entrou para história como o segundo turista espacial, depois do empresário norte-americano Dennis Tito, "flutua" a bordo da Estação Espacial Internacional que se encontra em órbita baixa (entre 350 km e 460 km da Terra).



Sobre Mark, é correto afirmar:

- A) tem a mesma aceleração da Estação Espacial Internacional.
- B) não tem peso nessa órbita.
- C) tem o poder da levitação.
- D) permanece flutuando devido à inércia.
- E) tem velocidade menor que a da Estação Espacial Internacional.

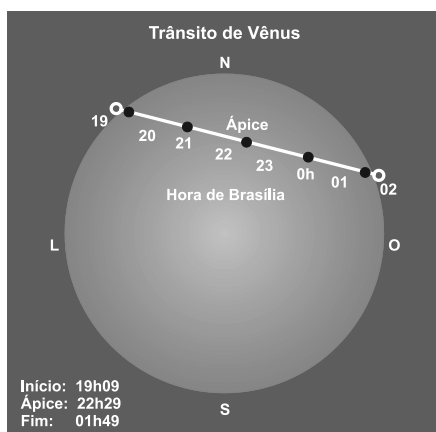
225

(Unicamp) A força gravitacional entre dois corpos de massa  $m_1$  e  $m_2$  tem módulo  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ , em que  $r$  é a distância entre eles e  $G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ . Sabendo que a massa de Júpiter é  $m_j = 2,0 \times 10^{27} \text{ kg}$  e que a massa da Terra é  $m_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$ , o módulo da força gravitacional entre Júpiter e a Terra no momento de maior proximidade é

- A)  $1,4 \times 10^{18} \text{ N}$
- B)  $2,2 \times 10^{18} \text{ N}$
- C)  $3,5 \times 10^{19} \text{ N}$
- D)  $1,3 \times 10^{30} \text{ N}$

226

(Unesp) No dia 5 de junho de 2012, pôde-se observar, de determinadas regiões da Terra, o fenômeno celeste chamado trânsito de Vênus, cuja próxima ocorrência se dará em 2117.



(www.apolo11.com. Adaptado.)

Tal fenômeno só é possível porque as órbitas de Vênus e da Terra, em torno do Sol, são aproximadamente coplanares, e porque o raio médio da órbita de Vênus é menor que o da Terra.

Portanto, quando comparado com a Terra, Vênus tem

- A) o mesmo período de rotação em torno do Sol.
- B) menor período de rotação em torno do Sol.
- C) menor velocidade angular média na rotação em torno do Sol.
- D) menor velocidade escalar média na rotação em torno do Sol.
- E) menor frequência de rotação em torno do Sol.

227

(Ufrgs) Considerando que o módulo da aceleração da gravidade na Terra é igual a  $10 \text{ m/s}^2$ , é correto afirmar que, se existisse um planeta cuja massa e cujo raio fossem quatro vezes superiores aos da Terra, a aceleração da gravidade seria de

- A)  $2,5 \text{ m/s}^2$ .
- B)  $5 \text{ m/s}^2$ .
- C)  $10 \text{ m/s}^2$ .
- D)  $20 \text{ m/s}^2$ .
- E)  $40 \text{ m/s}^2$ .

228

(Unicamp) Recentemente, a agência espacial americana anunciou a descoberta de um planeta a trinta e nove anos-luz da Terra, orbitando uma estrela anã vermelha que faz parte da constelação de Cetus. O novo planeta possui dimensões e massa pouco maiores do que as da Terra e se tornou um dos principais candidatos a abrigar vida fora do sistema solar. Considere este novo planeta esférico com um raio igual a  $R_p = 2 R_T$  e massa  $M_p = 8 M_T$ , em que  $R_T$  e  $M_T$  são o raio e a massa da Terra, respectivamente. Assim, considerando a Terra esférica e usando a aceleração da gravidade na sua superfície, o valor da aceleração da gravidade na superfície do novo planeta será de

- A)  $5 \text{ m/s}^2$
- B)  $20 \text{ m/s}^2$
- C)  $40 \text{ m/s}^2$
- D)  $80 \text{ m/s}^2$

229

(Enem (Libras)) Conhecer o movimento das marés é de suma importância para a navegação, pois permite definir com segurança quando e onde um navio pode navegar em áreas, portos ou canais. Em média, as marés oscilam entre alta e baixa num período de 12 horas e 24 minutos. No conjunto de marés altas, existem algumas que são maiores do que as demais.

A ocorrência dessas maiores marés tem como causa

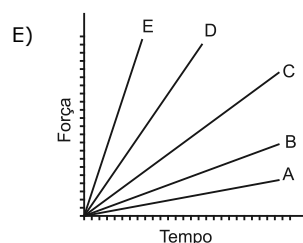
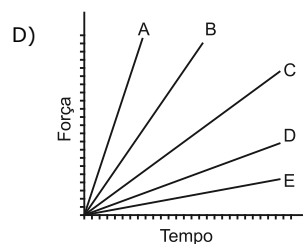
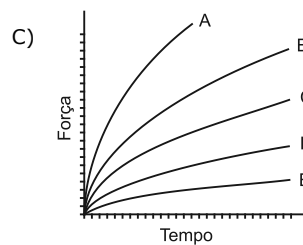
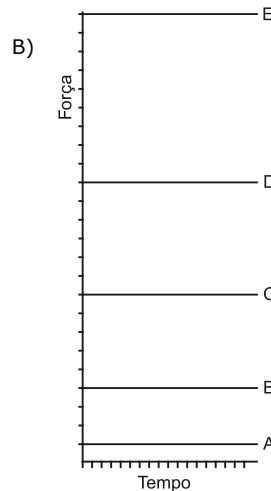
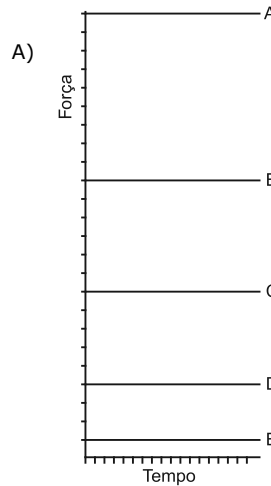
- A) a rotação da Terra, que muda entre dia e noite a cada 12 horas.
- B) os ventos marítimos, pois todos os corpos celestes se movimentam juntamente.
- C) o alinhamento entre a Terra, a Lua e o Sol, pois as forças gravitacionais agem na mesma direção.
- D) o deslocamento da Terra pelo espaço, pois a atração gravitacional da Lua e do Sol são semelhantes.
- E) a maior influência da atração gravitacional do Sol sobre a Terra, pois este tem a massa muito maior que a da Lua.

230

► (Enem PPL) Observações astronômicas indicam que no centro de nossa galáxia, a Via Láctea, provavelmente exista um buraco negro cuja massa é igual a milhares de vezes a massa do Sol. Uma técnica simples para estimar a massa desse buraco negro consiste em observar algum objeto que orbite ao seu redor e medir o período de uma rotação completa,  $T$ , bem como o raio médio,  $R$ , da órbita do objeto, que supostamente se desloca, com boa aproximação, em movimento circular uniforme. Nessa situação, considere que a força resultante, devido ao movimento circular, é igual, em magnitude, à força gravitacional que o buraco negro exerce sobre o objeto.

A partir do conhecimento do período de rotação, da distância média e da constante gravitacional,  $G$ , a massa do buraco negro é

- A)  $\frac{4\pi^2 R^2}{GT^2}$ .
- B)  $\frac{\pi^2 R^3}{2GT^2}$ .
- C)  $\frac{2\pi^2 R^3}{GT^2}$ .
- D)  $\frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$ .
- E)  $\frac{\pi^2 R^5}{GT^2}$ .



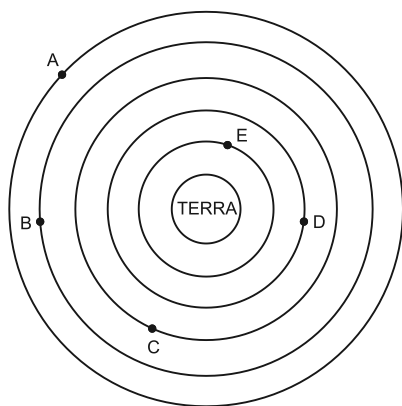
231

► (Enem) A Lei da Gravitação Universal, de Isaac Newton, estabelece a intensidade da força de atração entre duas massas. Ela é representada pela expressão:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

onde  $m_1$  e  $m_2$  correspondem às massas dos corpos,  $d$  à distância entre eles,  $G$  à constante universal da gravitação e  $F$  à força que um corpo exerce sobre o outro.

O esquema representa as trajetórias circulares de cinco satélites, de mesma massa, orbitando a Terra.



Qual gráfico expressa as intensidades das forças que a Terra exerce sobre cada satélite em função do tempo?





## Gabarito

### Leis de Newton

- |             |             |
|-------------|-------------|
| 01. Letra A | 47. Letra A |
| 02. Letra D | 48. Letra B |
| 03. Letra C | 49. Letra B |
| 04. Letra D | 50. Letra D |
| 05. Letra A | 51. Letra C |
| 06. Letra A | 52. Letra D |
| 07. Letra D | 53. Letra C |
| 08. Letra B | 54. Letra E |
| 09. Letra A | 55. Letra D |
| 10. Letra B | 56. Letra A |
| 11. Letra B | 57. Letra E |
| 12. Letra B | 58. Letra B |
| 13. Letra C | 59. Letra C |
| 14. Letra E | 60. Letra E |
| 15. Letra B | 61. Letra A |
| 16. Letra C | 62. Letra B |
| 17. Letra A | 63. Letra C |
| 18. Letra D | 64. Letra A |
| 19. Letra C | 65. Letra A |
| 20. Letra C | 66. Letra A |
| 21. Letra C | 67. Letra E |
| 22. Letra A | 68. Letra D |
| 23. Letra D | 69. Letra A |
| 24. Letra D | 70. Letra A |
| 25. Letra C | 71. Letra E |
| 26. Letra B | 72. Letra E |
| 27. Letra B |             |
| 28. Letra A |             |
| 29. Letra E |             |
| 30. Letra C |             |
| 31. Letra C |             |
| 32. Letra A |             |
| 33. Letra B |             |
| 34. Letra A |             |
| 35. Letra B |             |
| 36. Letra E |             |
| 37. Letra B |             |
| 38. Letra E |             |
| 39. Letra A |             |
| 40. Letra B |             |
| 41. Letra B |             |
| 42. Letra C |             |
| 43. Letra D |             |
| 44. Letra C |             |
| 45. Letra D |             |
| 46. Letra B |             |

## Sistema de Corpos

- 73. Letra C
- 74. Letra B
- 75. Letra B
- 76. Letra A
- 77. Letra C
- 78. Letra B
- 79. Letra D
- 80. Letra B

### Força de Atrito

- |             |              |
|-------------|--------------|
| 81. Letra C | 98. Letra B  |
| 82. Letra A | 99. Letra E  |
| 83. Letra A | 100. Letra E |
| 84. Letra C | 101. Letra B |
| 85. Letra D | 102. Letra A |
| 86. Letra A | 103. Letra E |
| 87. Letra B | 104. Letra C |
| 88. Letra A | 105. Letra C |
| 89. Letra A | 106. Letra A |
| 90. Letra D | 107. Letra B |
| 91. Letra A | 108. Letra A |
| 92. Letra A | 109. Letra A |
| 93. Letra C | 110. Letra B |
| 94. Letra B | 111. Letra C |
| 95. Letra D | 112. Letra B |
| 96. Letra C | 113. Letra A |
| 97. Letra A | 114. Letra B |

### Dinâmica no Movimento Circular

- |              |              |
|--------------|--------------|
| 115. Letra D | 128. Letra B |
| 116. Letra E | 129. Letra C |
| 117. Letra B | 130. Letra A |
| 118. Letra B | 131. Letra D |
| 119. Letra B | 132. Letra E |
| 120. Letra B | 133. Letra B |
| 121. Letra E | 134. Letra C |
| 122. Letra C | 135. Letra B |
| 123. Letra C | 136. Letra C |
| 124. Letra E | 137. Letra E |
| 125. Letra B | 138. Letra C |
| 126. Letra E | 139. Letra A |
| 127. Letra E |              |
| 140. Letra E |              |

**Trabalho e Energia**

- |        |        |
|--------|--------|
| 141. C | 164. B |
| 142. B | 165. C |
| 143. B | 166. C |
| 144. D | 167. E |
| 145. B | 168. D |
| 146. A | 169. C |
| 147. B | 170. B |
| 148. C | 171. D |
| 149. A | 172. A |
| 150. C | 173. D |
| 151. D | 174. B |
| 152. B | 175. B |
| 153. C | 176. C |
| 154. A | 177. A |
| 155. B | 178. C |
| 156. A | 179. A |
| 157. D | 180. B |
| 158. D | 181. B |
| 159. D | 182. D |
| 160. B | 183. E |
| 161. C | 184. D |
| 162. C | 185. B |
| 163. B |        |

**Impulso e Quantidade de Movimento**

- |        |        |
|--------|--------|
| 186. B | 196. B |
| 187. A | 197. D |
| 188. D | 198. C |
| 189. C | 199. D |
| 190. E | 200. C |
| 191. A | 201. A |
| 192. B | 202. B |
| 193. A | 203. C |
| 194. B | 204. C |
| 195. A | 205. E |

**Gravitação**

- |        |
|--------|
| 206. C |
| 207. D |
| 208. A |
| 209. A |
| 210. C |
| 211. B |
| 212. D |
| 213. C |
| 214. C |
| 215. D |
| 216. E |
| 217. D |
| 218. E |
| 219. D |
| 220. B |
| 221. E |
| 222. E |
| 223. C |
| 224. A |
| 225. B |
| 226. B |
| 227. A |
| 228. B |
| 229. C |
| 230. D |
| 231. B |



